ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1901 г. ТОМЪ 2 No. 5

Скала электромагнитныхъ волнъ въ эфирѣ

П. Н. Лебедева [1]).

Отъ самыхъ короткихъ электромагнитныхъ волнъ въ $\lambda = 3$ mm., которыя мы получаемъ при помощи искрового колебательнаго разряда электрически заряженныхъ проводниковъ, до тѣхъ электромагнитныхъ волнъ, которыя возникаютъ напр. при нагрѣваніи тѣлъ (термическое лучеиспусканіе) и въ частномъ случаѣ ощущаются нашимъ глазомъ, какъ „видимый свѣтъ", лежитъ еще очень большой промежутокъ.

Волны эти настолько коротки, что для измѣренія ихъ удобнѣе взять мелкую единицу, малую долю одного миллиметра. Такія единицы суть

$$1 \text{ микронъ} = 1\mu = 0{\cdot}001 \text{ mm.}$$
$$1 \text{ микромикронъ} = 1\mu\mu = 0{\cdot}000001 \text{ mm.}$$

Обыкновенно въ спектроскопіи пользуются еще меньшею единицею, которую ввелъ *Ангстрёмъ* (Ångström, 1868) при первомъ полномъ опредѣленіи длинъ волнъ солнечнаго спектра и которая въ честь его носитъ названіе *ангстрёмовской единицы* ($\mathring{A}E$):

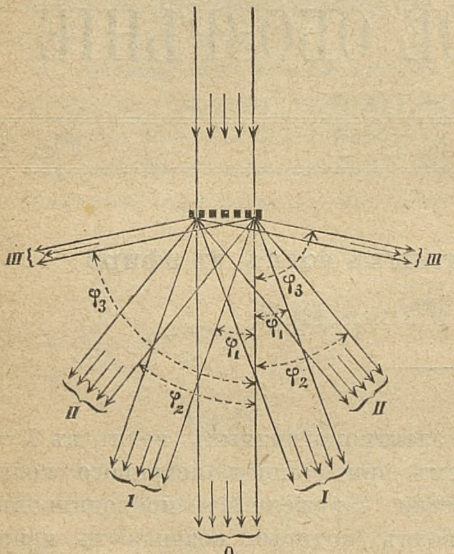
$$1\ \mathring{A}E = 0{\cdot}1\mu\mu = 0{\cdot}0000001 \text{ mm.}$$

Разсмотримъ теперь способы наблюденія и измѣренія этихъ короткихъ волнъ.

---

1) Окончаніе; см. стр. 49.

Наиболѣе удобный способъ опредѣленія длины волны λ — опредѣленіе при помощи *диффракціонной рѣшетки Фраунгофера* (Fraunhofer, 1823): на пути пучка параллельныхъ лучей поставленъ рядъ не пропускающихъ свѣта препятствій (фиг. 10), между



фиг. 10.

которыми оставлены на равныхъ разстояніяхъ равной величины промежутки, гдѣ волны свободно проходятъ (отсюда названіе „рѣшетка"); большая часть свѣта продолжаетъ итти въ прежнемъ направленіи, но нѣкоторая часть его уклоняется отъ этого направленія; если падающій лучъ монохроматическій, т. е. представляетъ собою колебаніе съ однимъ опредѣленнымъ періодомъ, то уклоняющійся лучъ идетъ въ нѣсколькихъ совершенно опредѣленныхъ направленіяхъ вправо и влѣво отъ первоначальнаго направленія. Углы отклоненій φ_1, φ_2, .. этихъ лучей, какъ извѣстно, находятся въ простой зависимости отъ разстоянія срединъ двухъ сосѣднихъ просвѣтовъ e („періода рѣшетки") и длины волны λ падающаго свѣта [1]):

$$\sin\varphi_1 = \frac{\lambda}{e}, \sin\varphi_2 = 2\frac{\lambda}{e}, \sin\varphi_3 = 3\frac{\lambda}{e}, \cdots \sin\varphi_n = n\frac{\lambda}{e}, \cdots$$

Пучекъ „бѣлаго" свѣта мы можемъ разсматривать какъ наложеніе безконечнаго множества монохроматическихъ пучковъ со всевозможными длинами волнъ: помѣщая на пути такого пучка диффракціонную рѣшетку, мы разбиваемъ отклоняющіеся лучи на группы соотвѣтствующихъ монохроматическихъ

---

[1]) См. *Зиловъ*, Курсъ физики, отд. V стр. 169 (Варшава 1900). *Хвольсонъ* Курсъ физики, т. II стр. 538 (СПБ. 1898).

волнъ, но эти группы въ свою очередь „налагаются" другъ на друга.

Дѣйствительно, для какого-нибудь опредѣленнаго угла отклоненія φ мы имѣемъ

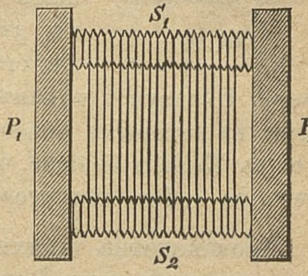
$$\sin\varphi = \frac{n\lambda}{e},$$

гдѣ n есть цѣлое число, и потому въ этомъ мѣстѣ соберутся всевозможныя волны, которыя удовлетворяютъ условію

$$\lambda_1 = 2\lambda_2 = 3\lambda_3 = \cdots = n\lambda_n = \cdots;$$

изъ нихъ *наибольшая* волна λ_1 соотвѣтствуетъ $n = 1$ — диффракціонному спектру „перваго порядка", слѣдующая $\lambda_2 = \lambda_1/2$ соотвѣтствуетъ диффракціонному спектру „второго порядка" и т. д., а n можетъ имѣть любую величину съ тѣмъ однако ограниченіемъ, чтобы соотвѣтствующія ему очень малыя волны дѣйствительно существовали въ данномъ пучкѣ свѣта.

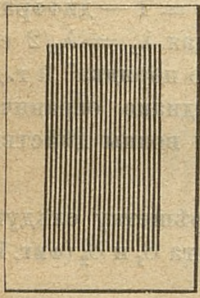
Фраунгоферъ построилъ диффракціонную рѣшетку слѣдующимъ образомъ: два тщательно сработанныхъ винта S_1 и S_2 (фиг. 11) съ равнымъ ходомъ соединены между собою пластинками P_1 и P_2; металлическая проволока намотана на оба винта такимъ образомъ, что она удерживается въ винтовомъ ходѣ: получаются двѣ диффракціонныя рѣшетки. Для того, чтобы получить одну рѣшетку, проволока припаивается къ винтамъ и потомъ лишняя рѣшетка срѣзается ножницами. Такая рѣшетка удовлетворяетъ вполнѣ основнымъ требованіямъ: всѣ просвѣты отстоятъ другъ отъ друга на равныхъ разстояніяхъ, періодъ рѣшетки e не великъ и число щелей значительно. При своихъ изслѣдованіяхъ въ инфракрасномъ спектрѣ Рубенсъ (Rubens, 1897) пользовался такою проволочною рѣшеткою съ періодомъ въ 0·37 mm. и могъ наблюдать для желтаго (натріеваго) свѣта спектръ 107-го порядка: длина волны этого желтаго свѣта $\lambda_D = 0{\cdot}59\,\mu$, а поэтому отклоненіе 107-го ея спектра соотвѣтствуетъ отклоненію перваго порядка для инфракрасныхъ лучей, которыхъ



фиг. 11.

$\lambda = 63{\cdot}1\mu$ — величина и наблюдавшаяся Рубенсомъ, какъ увидимъ ниже.

Для полученія рѣшетокъ, значительно больше отклоняющихъ лучи данной длины волны, необходимо уменьшить „періодъ" рѣшетки; при проволочныхъ рѣшеткахъ Фраунгофера скоро наступаетъ предѣлъ: нарѣзать винтъ съ числомъ ходовъ болѣе двадцати на одинъ миллиметръ—задача технически крайне трудная, также какъ и вытягиваніе проволокъ меньше 0·02 mm. діаметра. Нобертъ (Nobert, 1852) обошелъ эту трудность такимъ способомъ: онъ взялъ стеклянную пластинку (фиг. 12) и, пользуясь дѣлительною машиною, алмазомъ начертилъ на ней большое число равноотстоящихъ параллельныхъ линій: при движеніи по стеклу остріе алмаза выкрашиваетъ въ гладкой стеклянной поверхности бороздку, которая мѣшаетъ свободному распространенію свѣта, разсѣивая его въ разныя стороны (какъ „матовое" стекло), тогда какъ чрезъ гладкія поверхности стекла, остающіяся между бороздками, свѣтъ проходитъ свободно, какъ въ воздухѣ; такимъ образомъ въ рѣшеткѣ Ноберта бороздки являются непрозрачными препятствіями для свѣта, какъ проволоки въ рѣшеткѣ Фраунгофера. Пользуясь такимъ пріемомъ Нобертъ могъ получать рѣшетки, въ которыхъ число бороздокъ доходило до 300 на 1 mm. (т. е. въ 15 разъ больше, чѣмъ у Фраунгофера), что далеко оставляетъ за собою фраунгоферовскія рѣшетки.



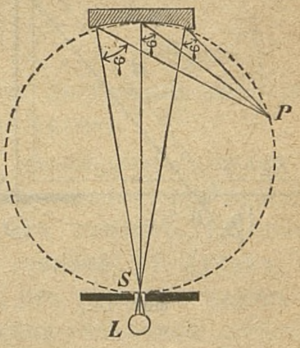
фиг. 12.

Производство такихъ „начерченныхъ" рѣшетокъ значительно усовершенствовалъ Рутерфордъ (Rutherford, 1872), замѣнивъ стекло плоскимъ металлическимъ зеркаломъ: явленіе диффракціи, наблюдаемое въ этомъ случаѣ, таково, какъ будто пучекъ свѣта, въ дѣйствительности падающій на поверхность рѣшетки и отражаемый ею, выходилъ бы изъ-за зеркала и пересѣкалъ бы поверхность съ начерченною на ней рѣшеткою, какъ въ случаѣ нобертовской рѣшетки. При черченіи по металлу алмазъ почти не изнашивается, тогда какъ при работѣ по стеклу онъ легко портится, бороздки имѣютъ ровные, незазубреные края, и металлическая поверхность допускаетъ черченіе до 800 бороздокъ

на 1 mm.[1]) безъ того, чтобы промежутки между бороздками выкрашивались. Зеркальная рѣшетка имѣетъ еще и то огромное преимущество, что свѣтъ движется только въ воздухѣ и не проходитъ стекла (которое поглощаетъ, т. е. не пропускаетъ инфракрасныхъ и ультрафіолетовыхъ волнъ).

До высшаго совершенства конструкцію зеркальныхъ рѣшетокъ довелъ американскій физикъ Роландъ (Rowland, 1878). Построивъ дѣлительную машину, въ которой періодическія ошибки въ ходѣ винта такъ малы, что не могутъ быть обнаружены точнѣйшими измѣреніями, онъ помѣстилъ эту машину на днѣ глубокой шахты, гдѣ постоянство температуры было обезпечено и не нарушалось самимъ работающимъ, такъ какъ машина приводилась въ дѣйствіе двигателемъ и автоматически производила всѣ необходимыя движенія. Большія рѣшетки Роланда имѣютъ по 800 бороздокъ на 1 mm. при длинѣ бороздокъ въ 8 cm..; общая ширина рѣшетки доходитъ до 20 cm., что составляетъ 160000 бороздокъ [2]).

Роландъ усовершенствовалъ зеркальную рѣшетку замѣчательно остроумнымъ образомъ, нанося бороздки не на плоское, а на *вогнутое* зеркало: такая *вогнутая рѣшетка Роланда* не требуетъ добавочныхъ оптическихъ частей. Дѣйствительно: если въ центрѣ кривизны роландовской рѣшетки мы помѣстимъ щель S (фиг. 13), чрезъ которую проходитъ свѣтъ источника L, то лучи, расходясь, упадутъ на зеркало, и главная часть ихъ, отразившись, снова соберется на щели S, давая тутъ дѣйствительное ея изображеніе. Часть свѣта, какъ мы знаемъ, отклонится, благодаря диффракціи; если свѣтъ монохроматическій, то уголъ отклоненія φ отъ направленія падающаго луча для всѣхъ частей рѣшетки будетъ одинаковъ, такъ



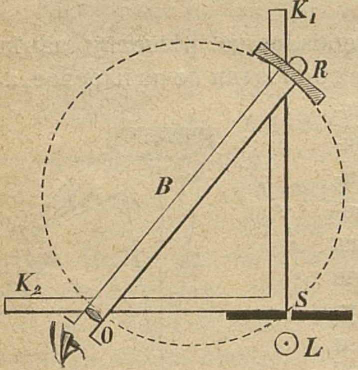
фиг. 13.

[1]) Въ видѣ опыта черченія на металлѣ Роландъ доводилъ число бороздокъ до 1700 на 1 mm.

[2]) На проведеніе одной бороздки требуется 5 сек. времени, слѣд. вся рѣшетка изготовляется въ теченіе болѣе 9 сутокъ; все это время дѣлительная машина работаетъ безъ перерыва и безъ надзора; цѣна подобной рѣшетки около 800 руб.

какъ періодъ ея вездѣ имѣетъ ту же величину (см. выше); всѣ эти отклоненные лучи соберутся въ одной точкѣ P[1]); эта точка P лежитъ на кругѣ, котораго діаметръ равенъ радіусу кривизны рѣшетки: разстояніе отъ S до P есть хорда, на которую опираются равновеликіе углы φ. Если мы на мѣсто P поставимъ щель съ источникомъ свѣта, то главная часть свѣта отразится отъ зеркала по законамъ геометрической оптики, а часть свѣта, отклоненнаго каждою частью рѣшетки на тотъ же уголъ φ, соединится въ точкѣ S; такимъ образомъ, по отношенію къ данной длинѣ волны падающаго свѣта, точки P и S являются сопряженными.

Для болѣе удобнаго пользованія вогнутою рѣшеткою Роландъ предложилъ такое расположеніе: два рельса K_1 и K_2 (фиг. 14) поставлены подъ прямымъ угломъ, въ вершинѣ котораго помѣщена щель S; по этимъ рельсамъ можетъ скользить поперечный брусокъ B, притомъ такъ, что концы его всегда двигаются вдоль рельсовъ; длина бруска B равна радіусу кривизны вогнутой рѣшетки R, которая укрѣплена на одномъ его концѣ, тогда какъ на другомъ помѣщена фотографическая пластинка для сниманія спектра или окуляръ O для разсматриванія его глазомъ. При всѣхъ положеніяхъ гипотенузы B, щель, лежащая въ вершинѣ прямаго угла, будетъ находиться на кругѣ, который описанъ на гипотенузѣ, какъ на діаметрѣ.



фиг. 14.

Такая вогнутая рѣшетка Роланда при радіусѣ кривизны около 6 m. раздѣляетъ въ спектрѣ перваго порядка двойную желтую линію пламени, подкрашеннаго солями натрія (длины волнъ которыхъ $D_1 = 0{\cdot}58962\,\mu$ и $D_2 = 0{\cdot}58902\,\mu$), на двѣ линіи, разстояніе между которыми на фотографической пластин-

[1]) Вѣрнѣе сказать: „почти въ одной точкѣ P“; отступленія практически не замѣтны, такъ какъ величина рѣшетки очень мала по сравненію съ радіусомъ ея кривизны.

кѣ около 5 mm., такъ что въ солнечномъ спектрѣ между ними отчетливо видно еще 11 другихъ фраунгоферовскихъ линій.

Рѣшетки Роланда настолько совершенны, что позволяютъ пользоваться сильными окулярами и съ увѣренностью наблюдать уголъ отклоненія лучей, а слѣдовательно и измѣрять длину волны съ точностью до стотысячныхъ долей всей величины; ихъ можно отнести къ наиболѣе совершеннымъ измѣрительнымъ приборамъ современной физики.

Разлагая при помощи диффракціонной рѣшетки бѣлый свѣтъ, идущій отъ какого-нибудь источника (напр. отъ накаленнаго твердаго тѣла), мы можемъ наблюдать, что этотъ свѣтъ разлагается на радужные цвѣта, причемъ красный отклоняется всего больше, а фіолетовый всего меньше; измѣривъ углы отклоненія и періодъ рѣшетки, мы находимъ слѣдующія длины волнъ:

краснаго свѣта	0·75 μ
оранжеваго	0·65 „
желтаго	0·57 „
зеленаго	0·50 „
голубого	0·45 „
синяго	0·41 „
фіолетоваго	0·38 „

Такимъ образомъ интервалъ волнъ, доступный непосредственному наблюденію глазомъ, очень не великъ.

Область наблюденія значительно расширяется, если мы прибѣгнемъ къ фотографіи: соли серебра оказываются чувствительными не только къ лучамъ, видимымъ глазомъ, но также (нѣкоторыя изъ нихъ даже въ большей степени) къ лучамъ, невидимымъ для глаза; заставляя спектръ отъ рѣшетки падать на фотографическую пластинку, мы находимъ замѣтное дѣйствіе и по ту сторону фіолетовыхъ лучей — въ ультрафіолетовой части. Если пользоваться все болѣе и болѣе продолжительными экспозиціями, то граница, до которой еще можно прослѣдить дѣйствіе лучей, соотвѣтствуетъ длинѣ волны въ $\lambda = 0{\cdot}17\,\mu$.

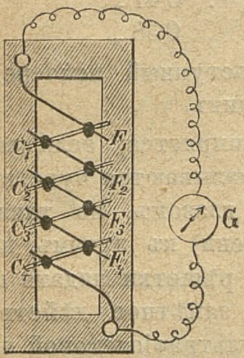
Шуманъ (Schumann, 1892) высказалъ мысль, что эта граница обусловлена не отсутствіемъ болѣе короткихъ волнъ въ источникѣ или нечувствительностью фотографической пластинки, а тѣмъ, что воздухъ, въ которомъ распространяются лучи, поглощаетъ ихъ; дѣйствительно, помѣщая свой спектрографъ въ пустоту, Шуманъ могъ обнаружить существованіе еще болѣе ко-

роткихъ волнъ въ $\lambda = 0{\cdot}1\,\mu$. Въ настоящее время это самыя короткія ультрафіолетовыя волны, которыя намъ извѣстны [1]).

Значительный прогрессъ въ приготовленіи фотографическихъ пластинокъ позволилъ найти способы сдѣлать фотографическую пластинку чувствительною (сенсибилизировать ее) не только для лучей краснаго свѣта, но и для лучей съ еще большею длиною волны. Такъ Абней (Abney, 1887) получилъ фотографическіе отпечатки лучей въ $\lambda = 1{\cdot}3\,\mu$., что въ настоящее время представляетъ собою предѣлъ, достигнутый фотографіею въ инфракрасной части спектра.

Гораздо большій интервалъ волнъ дѣлается доступнымъ наблюденію, если воспользоваться *термическимъ* методомъ: изслѣдуемые лучи падаютъ на поверхность, которая ихъ поглощаетъ и гдѣ лучистая энергія, исчезая, переходитъ въ тепловую; тѣло, поглотившее лучи, нагрѣвается, и задача сводится къ тому, чтобы имѣть достаточно чувствительный способъ для обнаруженія этого (обыкновенно незначительнаго) нагрѣванія.

Впервые подобный пріемъ былъ употребленъ Меллони (Melloni, 1833), который заставлялъ лучи падать на зачерненные нечетные спаи термобатареи (четные спаи которой оставались закрытыми), и наблюдалъ нагрѣваніе этихъ спаевъ при помощи гальванометра, который отклонялся возникающимъ термоэлектрическимъ т о к о м ъ. Рубенсъ значительно усовершенствовалъ этотъ пріемъ, построивъ термоэлектрическую батарею съ очень малою массою, благодаря чему полное прогрѣваніе спаевъ достигается въ нѣсколько секундъ: на рамкѣ изъ слоновой кости натянуты проволоки (діаметромъ 0·1 mm.) изъ константана C_1, C_2, C_3, C_4 (фиг. 15) и изъ желѣза F_1, F_2, F_3, F_4; въ мѣстахъ своего взаимнаго пересѣченія разнородныя проволоки спаяны и образуютъ зигзагомъ расположенную термобатарею; при опытахъ



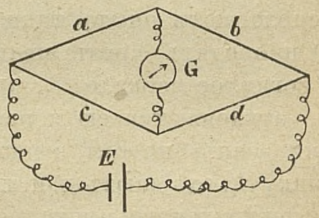
фиг. 15.

[1]) Изслѣдованіе ультрафіолетоваго спектра при помощи флуоресцирующихъ экрановъ значительно уступаетъ фотографіи, какъ по чувствительности, такъ и по интервалу; оно удобно только, какъ пріемъ для лекціонной демонстраціи ультрафіолетовыхъ лучей.

на нѣкоторомъ разстояніи отъ батареи ставится металлическій экранъ (не показанный на чертежѣ) съ вертикальною щелью, которая позволяетъ падать лучамъ только на нечетныя спаи батареи.

Другой способъ обнаружить нагрѣваніе отъ поглощенныхъ лучей состоитъ въ опредѣленіи измѣненія электрическаго сопротивленія, испытываемое зачерненною металлическою пластинкою подъ вліяніемъ освѣщенія; этотъ способъ разработалъ Лэнглей (Langley, 1881) и построенный имъ приборъ названъ *болометромъ.* Принципъ прибора заключается въ слѣдующемъ: если токъ отъ элемента E (фиг. 16), развѣтвляясь, проходитъ чрезъ сопротивленія a, b, c, d, то гальванометръ G не дастъ никакого отклоненія (останется на нулѣ) только въ томъ случаѣ, когда соблюдено условіе:

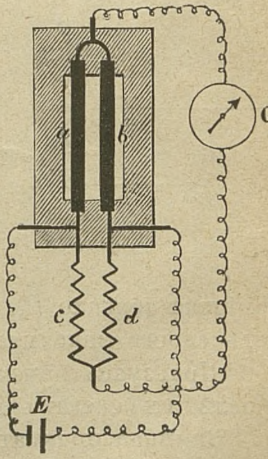
$$\frac{a}{b}=\frac{c}{d};$$



фиг. 16.

но какъ только одно изъ сопротивленій измѣнится, напр. увеличится отъ нагрѣванія, то предыдущее соотношеніе нарушится, и стрѣлка гальванометра отклонится на уголъ, который прямо-пропорціоналенъ измѣненію сопротивленія (а слѣдовательно и нагрѣванію въ нашемъ случаѣ).

Въ болометрѣ (фиг. 17) сопротивленія состоятъ: изъ двухъ тонкихъ платиновыхъ листочковъ a и b (толщина коихъ приблизительно 0·001 mm., ширина—1 mm., длина—15 mm.), покрытыхъ платиновою черныо, и изъ двухъ проволокъ c и d; на нѣкоторомъ разстояніи отъ болометра стоитъ металлическій экранъ съ вертикальною щелью, которая позволяетъ лучамъ падать только на одинъ изъ листочковъ, напр. на a.

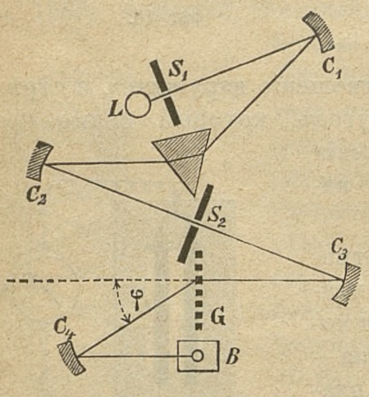


фиг. 17.

Чувствительность какъ термобатареи Рубенса, такъ и болометра Лэнглея обусловливается исключительно чувствительностью гальва-

нометра; при одномъ и томъ же гальванометрѣ оба метода имѣютъ приблизительно одинаковую чувствительность. О томъ какъ велика эта чувствительность можно судить по тому, что нагрѣваніе лучами, едва достигающее одной милліонной доли градуса, даетъ уже замѣтное отклоненіе стрѣлки гальванометра.

При опредѣленіи съ помощью рѣшетки длины волнъ въ инфракрасной части спектра приходится считаться съ наложеніемъ спектровъ разныхъ порядковъ, и потому необходимо пользоваться монохроматическимъ свѣтомъ. Для избѣжанія поглощенія этихъ волнъ въ промежуточныхъ средахъ (воздухъ пропускаетъ ихъ безъ поглощенія) вмѣсто линзъ пользуются вогнутыми зеркалами и располагаютъ опытъ такимъ образомъ: лучи источника L (фиг. 18) проходятъ чрезъ щель S_1, падаютъ расходящимся пучкомъ на вогнутое зеркало C_1, проходятъ параллельнымъ пучкомъ призму, отклоняются ею и разсѣиваются на лучи съ разными длинами волнъ; потомъ зеркаломъ C_2 эти лучи собираются на пластинку S_2, гдѣ даютъ дѣйствительное изображеніе спектра; изъ всего спектральнаго пучка только монохроматическая часть лучей, упавшая на щель S_2, проходитъ дальше въ видѣ расходящагося пучка, который, отразившись отъ зеркала C_3 параллельнымъ пучкомъ, испытываетъ диффракцію въ фраунгоферовской проволочной рѣшеткѣ G, частью отклоняется на уголъ φ, достигаетъ зеркала C_4 и этимъ послѣднимъ концентрируется на термоэлементъ или болометръ B. Для того, чтобы узнать куда отклонился этотъ невидимый глазу лучъ, приходится итти ощупью, понемногу перемѣщая зеркало C_4, покуда стрѣлка гальванометра не достигнетъ своего максимальнаго отклоненія.



фиг. 18.

Пользуясь призмою изъ сильвина, можно такимъ образомъ прослѣдить спектръ до длины волны въ $\lambda = 20\ \mu$.

Замѣняя призматическое разложеніе свѣта способомъ „остаточныхъ лучей“, Рубенсъ [1]) могъ обнаружить волны до $\lambda = 61\ \mu$;

[1]) См. *Физическое Обозрѣніе*, томъ **1** (1900 г.) стр. 265.

это самыя длинныя „тепловыя“ волны, которыя намъ извѣстны въ настоящее время.

Для наблюденія и болѣе короткихъ волнъ и опредѣленія соотвѣтствующей имъ яркости термическій способъ наблюденія является очень пригоднымъ до волнъ въ $\lambda = 0{\cdot}3\,\mu$ включительно.

На вопросъ—возможно-ли ожидать значительнаго расширенія извѣстнаго намъ спектра по ту сторону волнъ въ $\lambda = 60\,\mu$, —въ настоящее время отвѣтить трудно: изученіе лучеиспусканія черныхъ тѣлъ позволило установить законы этого лучеиспусканія для всякой длины волны въ зависимости отъ температуры; эти законы показываютъ, что количество энергіи, лучеиспускаемое тѣломъ въ формѣ длинныхъ волнъ, ничтожно-мало по сравненію съ общимъ лучеиспусканіемъ; пользуясь даже самыми чувствительными термическими методами, врядъ-ли возможно будетъ перейти волны въ $\lambda = 100\,\mu$., получаемыя отъ нашихъ источниковъ.

Въ сторону волнъ еще болѣе короткихъ, чѣмъ $\lambda = 0{\cdot}1\,\mu$, вопросъ обстоитъ нѣсколько иначе. Мы имѣемъ основанія предполагать, что подобныя волны существуютъ: лучи Рёнтгена (Roentgen, 1895) и лучи Беккереля (Becquerel, 1896) указываютъ, что въ этой области нами не все еще исчерпано. Очень возможно, что и фотографическій методъ изслѣдованія ихъ, судя по приложимости этого метода къ упомянутымъ выше лучамъ, оправдаетъ возлагаемыя на него надежды. Трудность, съ которою приходится здѣсь сталкиваться на первыхъ же шагахъ, чисто техническаго характера: для направленія этихъ лучей намъ необходимы линзы и зеркала, т. е. приборы съ полированными поверхностями; та полировка, которая вполнѣ достаточна для фіолетовыхъ лучей, можетъ представлять собою совершенно неровную, „матовую“ поверхность для волнъ гораздо меньшихъ, такъ какъ отраженіе и преломленіе только до тѣхъ поръ слѣдуетъ законамъ геометрической оптики, покуда неровности (борозды отъ полирующаго порошка) значительно меньше длины волны. Можно-ли достигнуть такой полировки извѣстными намъ средствами и, что еще важнѣе, какъ убѣдиться въ томъ, что такая полировка достигнута, это вопросы, которые заставляютъ задуматься и искать новыхъ путей и способовъ изслѣдованія.

Спускаясь къ еще меньшимъ волнамъ, мы скоро подходимъ къ размѣрамъ, которые — по теоріи газовъ — равны размѣрамъ

отдѣльныхъ молекулъ; каковы будутъ въ этомъ случаѣ „оптическія“ явленія, когда матерія явится крупнозернистою и неравномѣрною по сравненію съ волною, предугадать трудно. Можетъ быть, что тѣ особенности лучей Рёнтгена и Беккереля, которыя позволяютъ намъ сомнѣваться въ возможномъ тождествѣ ихъ съ извѣстными уже намъ электромагнитными волнами, обусловлены только соизмѣримостью этихъ волнъ съ молекулами тѣла. Во всякомъ случаѣ въ изученіи болѣе короткихъ ультрафіолетовыхъ волнъ открывается заманчивая перспектива связать уже извѣстную намъ оптику съ лучами Рёнтгена и Беккереля.

Для того, чтобы составить себѣ ясное представленіе о томъ, какъ велика та скала электромагнитныхъ волнъ, которая въ настоящее время находится въ нашемъ распоряженіи, и выяснить тѣ пробѣлы, которые еще имѣются въ ней, полезно графически представить полученные результаты.

При изученіи волнообразныхъ движеній существеннымъ условіемъ является не абсолютныя величины длинъ волнъ или чиселъ колебаній, а взаимныя отношенія соотвѣтствующихъ величинъ. Поэтому и графическое изображеніе должно наглядно давать эти отношенія, для чего особенно пригодно логариѳмическое изображеніе или раздѣленіе на октавы (какъ въ музыкѣ). Въ этомъ случаѣ представляется еще возможность ввести небольшое упрощеніе для наглядности графика.

Если за основную единицу мы возьмемъ какую-нибудь опредѣленную длину волны, то длины волнъ нисходящихъ октавъ представятъ собою рядъ:

1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024.

На десять октавъ волна увеличивается почти въ тысячу разъ. Чтобы не запутывать графикъ сложными числами при дальнѣйшемъ увеличеніи октавъ, мы возьмемъ очень немного измѣненное чередованіе длинъ:

1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 125, 250, 500, 1000.

Тогда получается то удобство, что чрезъ каждые десять октавъ соотношенія повторяются; десятки октавъ даютъ простое соотношеніе между длинами волнъ, тогда какъ ошибка, дѣлаемая нами, совершенно незамѣтна при графическомъ изображеніи (около 0·002 на каждую октаву).

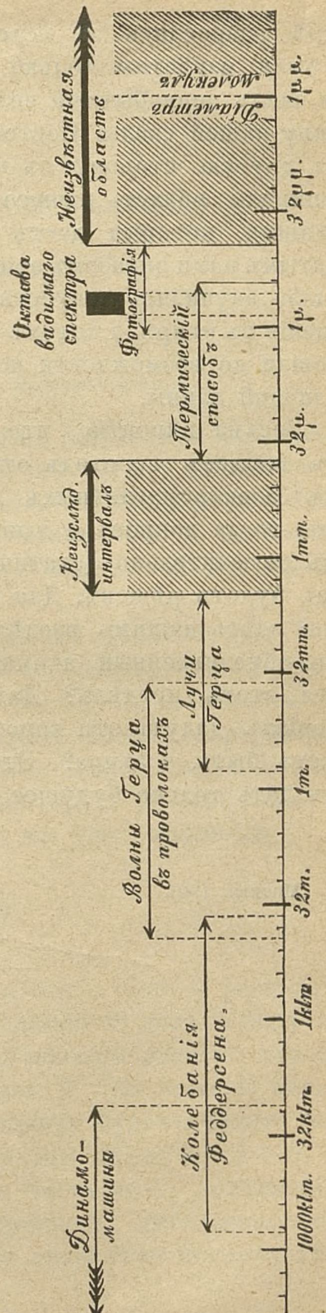
Въ этомъ случаѣ естественно взять основными единицами:

1 klm., 1 m., 1 mm., 1 μ, 1 μμ.

Фиг. 19 даетъ изображеніе длинъ волнъ, получаемыхъ и наблюдаемыхъ различными пріемами [1]). Эти волны суть слѣдующія:

	отъ:		до:
динамомашина	∞		15 klm.
электрическія колебанія (способъ вращающагося зеркала)	600 klm.		0·06 klm.
волны въ проволокахъ	114 m.		0·04 m.
зеркальные опыты	600 mm.		3 mm.
неизслѣд. обл. .	3 mm.		0·06 mm.
термическій способъ (термобатарея или болометръ)	60 μ	—	0·3 μ
видимый спект.	0·76 μ	—	0·38 μ
фотографія . . .	1·3 μ	—	0·1 μ
начало неизслѣд. области .	0·1 μ	—	—
діаметръ молекулъ.	—		1 μμ.

Фиг. 19 показываетъ намъ какъ наши свѣдѣнія о волнахъ въ



фиг. 19.

---

[1]) Для демонстрацій въ аудиторіи Московскаго университета эта таблица начерчена на длинной полосѣ чертежной бумаги, подклеенной холстомъ (что въ этомъ случаѣ необходимо для прочности). Величина каждой октавы равна величинѣ фортепіанной октавы (16·5 cm.); длина всей таблицы около 8·5 m.

эфирѣ разрослись за истекшее столѣтіе. Въ началѣ столѣтія были извѣстны только тѣ семь цвѣтовъ радуги, которые уже зналъ первобытный человѣкъ; они составляютъ только одну октаву нашей скалы. Постепенно эта область расширилась въ ту и въ другую сторону: съ помощью фотографіи и болометра мы расширили область нашего зрѣнія; не довольствуясь тѣми колебаніями, которыя даетъ свѣтящее тѣло, сотрясающее еще не понятымъ нами образомъ эфиръ, мы—при помощи динамомашинъ—сначала научились искусственно производить періодическія возмущенія въ эфирѣ, а потомъ—при помощи герцовскаго вибратора—дошли до возможности по произволу вызывать эфирныя волны различной длины.

Весьма вѣроятно, что не далеко уже то время, когда будетъ найденъ переходъ отъ наиболѣе короткихъ „искусственныхъ“ электромагнитныхъ волнъ къ наиболѣе длиннымъ тепловымъ; тогда вопросъ о длинныхъ волнахъ, до безконечно-длинныхъ включительно (статическое, электрическое или магнитное поле), будетъ рѣшенъ. Для короткихъ волнъ условія совершенно иныя: здѣсь нашимъ изслѣдованіямъ положенъ предѣлъ — предѣлъ, обусловленный атомнымъ строеніемъ матеріи. Гдѣ находится этотъ предѣлъ? Далеки-ли мы теперь отъ него? Какой матеріалъ дадутъ эти короткія волны для изученія матеріи, а можетъ быть, и эфира? Это вопросы, на которые отвѣтъ можетъ дать только будущее.

Москва, 1901.

Очерки по спектральному анализу

В. А. Михельсона [1]).

6. Законъ Кирхгоффа и флуоресценція.

Выше [2]) мы формулировали законъ Кирхгоффа для полнаго лучеиспусканія непрозрачныхъ тѣлъ; не трудно убѣдиться въ томъ, что онъ долженъ быть справедливъ и для каждаго отдѣльнаго вида лучей, лучеиспускаемыхъ какимъ бы то ни было нагрѣтымъ тѣломъ, не подвергающимся химическимъ или электрическимъ процессамъ.

Въ замкнутой непрозрачной оболочкѣ температуры T при тепловомъ равновѣсіи всегда должна господствовать вполнѣ нестройная радіація интенсивности $E = CT^4$ и плотности $\psi = 4E/v = 4CT^4/v$. Эта радіація имѣетъ вполнѣ опредѣленный спектральный составъ, такъ что волны, длина которыхъ заключается между λ и $\lambda + d\lambda$, имѣютъ нѣкоторую (въ среднемъ) постоянную энергію e_λ, и потому, какъ мы уже указывали,

$$E = \int_0^\infty e_\lambda \, d\lambda.$$

Очевидно, что тепловое равновѣсіе, а стало быть и распредѣленіе энергіи въ спектрѣ нестройной радіаціи не должно нарушиться, если мы внутрь нашей замкнутой полости введемъ какое-нибудь тѣло той же самой температуры T. На каждую единицу поверхности этого тѣла въ одну секунду будетъ падать количество e_λ радіаціи, имѣющей длину волны между λ и $\lambda + d\lambda$. Изъ этой энергіи наше тѣло поглощаетъ часть $a_\lambda e_\lambda$; остальную же часть $(1 - a_\lambda)e_\lambda$ наше тѣло либо отражаетъ, либо пропускаетъ сквозь себя. Одновременно съ этимъ наше тѣло испускаетъ (съ

---

[1]) Продолженіе; см. стр. 165. [2]) См. стр. 174.

каждой единицы поверхности) лучистую энергію того же цвѣта въ количествѣ i_λ. Если въ нашемъ тѣлѣ не происходитъ никакихъ другихъ процессовъ кромѣ тепловыхъ, то для всѣхъ значеній λ должно имѣть мѣсто соотношеніе

$$i_\lambda = a_\lambda e_\lambda$$

или

$$\frac{i_\lambda}{a_\lambda} = e_\lambda, \tag{24}$$

т. е. законъ Кирхгоффа.

Въ самомъ дѣлѣ, если бы для какой-нибудь опредѣленной длины волны λ_1 это равенство не выполнялось, а мы имѣли бы напримѣръ

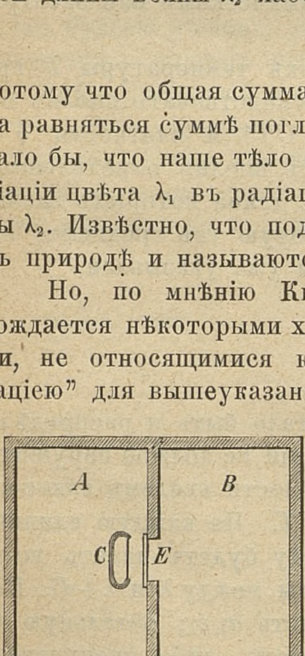
$$i_{\lambda_1} < a_{\lambda_1} e_{\lambda_1},$$

то изъ этого необходимо слѣдовало бы, что для нѣкоторой другой длины волны λ_2 наоборотъ

$$i_{\lambda_2} > a_{\lambda_2} e_{\lambda_2},$$

потому что общая сумма испускаемой радіаціи непремѣнно должна равняться суммѣ поглощаемой энергіи (см. ур. 2), а это означало бы, что наше тѣло *превращаетъ* часть поглощаемой имъ радіаціи цвѣта λ_1 въ радіацію другого цвѣта, имѣющую длину волны λ_2. Извѣстно, что подобныя тѣла дѣйствительно существуютъ въ природѣ и называются *флуоресцирующими.*

Но, по мнѣнію Кирхгоффа, флуоресценція всегда сопровождается нѣкоторыми химическими или молекулярными явленіями, не относящимися къ тепловымъ, и служащими „компенсаціею" для вышеуказаннаго превращенія энергіи.



Фиг. 6.

Этимъ и объясняется то, что флуоресцирующія тѣла не подчиняются закону Кирхгоффа.

Представимъ себѣ двѣ сообщающіяся полости A и B (фиг. 6) въ непрозрачныхъ оболочкахъ, имѣющихъ температуру T. Обѣ полости наполнены одинаковою вполнѣ нестройною радіаціею плотности, соотвѣтствующей температурѣ T. Въ одну изъ полостей помѣстимъ флуоресцирующее тѣло C (той же темпера-

туры), которое имѣетъ свойство обращать часть поглощаемыхъ имъ другихъ радіацій въ радіацію съ длиною волны λ_2, т. е. предположимъ, что $i_{\lambda_2} > a_{\lambda_2} e_{\lambda_2}$ для тѣла C.

Ради простоты представимъ себѣ, что тѣло C покрыто непрозрачною и не флуоресцирующею оболочкою за исключеніемъ той части его поверхности, которая обращена къ окну E, соединяющему двѣ полости; это окошко закроемъ полупрозрачною пластинкою, имѣющею избирательную пропускную способность, и преимущественно пропускающею именно только лучи съ длиною волны λ_2.

Очевидно, что пока наше флуоресцирующее тѣло будетъ находиться передъ этою пластинкою, на нее со стороны полости A будетъ падать больше лучей съ длиною волны λ_2, чѣмъ со стороны B; именно со стороны B ихъ будетъ падать нормальное количество e_{λ_2}, а со стороны A количество $e_{\lambda_2} + i_{\lambda_2} - a_{\lambda_2} e_{\lambda_2}$.

Правда, что за-то другихъ лучей (превращенныхъ въ C) со стороны A будетъ падать настолько же меньше, чѣмъ со стороны B. Но такъ какъ наша пластинка эти другіе лучи преимущественно отражаетъ, а лучи λ_2 преимущественно пропускаетъ, то въ общемъ лучистой энергіи отъ A къ B пройдетъ больше, чѣмъ въ обратномъ направленіи. Въ результатѣ плотность лучистой энергіи въ B должна возрасти и температура этой полости повыситься; наоборотъ температура A упадетъ.

Такое нарушеніе теплового равновѣсія противорѣчило бы второму закону термодинамики, если бы въ самомъ явленіи флуоресценціи нельзя было найти какого-нибудь процесса, компенсирующаго это нарушеніе равновѣсія. Естественнѣе всего предположить, что флуоресценція *всегда* сопровождается нѣкоторыми химическими или электрическими процессами.

В. Винъ полагаетъ [1]), что, если флуоресцирующее тѣло слѣдуетъ закону Стокса, т. е. если $\lambda_2 > \lambda_1$, то процессъ флуоресценціи можетъ происходить *самъ-собою* и не требуетъ компенсаціи. Съ точки зрѣнія В. Вина онъ даже самъ могъ бы, повидимому, служить компенсаціею для выше-указаннаго наруше-

---

[1]) *W. Wien*, Rapports prés. au Congrès Internat. de Physique 1900. Vol. II p. 26.

нія теплового равновѣсія. Но мнѣ кажется, что для сужденія о томъ, можетъ-ли данное преобразованіе лучистой энергіи происходить само собою или нѣтъ, недостаточно принимать во вниманіе только однѣ длины волнъ первоначальной и преобразованной радіацій; необходимо кромѣ того принять въ разсчетъ какъ энергію, такъ и степень однородности (общѣе—стройности) каждой изъ радіацій. В. Винъ правъ въ томъ, что когда флуоресцирующее тѣло имѣетъ температуру значительно болѣе низкую, чѣмъ тѣло, испускающее первоначальные лучи, то самое поглощеніе части лучистой энергіи въ тѣлѣ флуоресцирующемъ можетъ служить необходимою компенсаціею для процесса флуоресценціи. Но если, какъ въ нашемъ случаѣ, тѣло флуоресцируетъ подъ вліяніемъ лучей, соотвѣтствующихъ той же температурѣ, какую оно имѣетъ само, то нужна другая компенсація, все равно, будетъ-ли самая флуоресценція соотвѣтствовать закону Стокса или нѣтъ. Изъ расположенія нашего идеальнаго опыта очевидно, что флуоресцирующее тѣло C непрерывно заимствуетъ энергію изъ запаса *вполнѣ нестройной* (черной) радіаціи A и превращаетъ ее въ *болѣе стройную*, приблизительно монохроматическую энергію длины волны λ_2. Этотъ процессъ не можетъ происходить безъ компенсаціи, какова бы ни была длина волны λ_2.

7. *Общія свойства функціи Кирхгоффа.*

Въ виду всего сказаннаго выше оставимъ пока въ сторонѣ всѣ явленія флуоресценціи, а также другія явленія радіаціи, не подчиняющіяся закону Кирхгоффа, и будемъ исключительно разсматривать обширный классъ явленій чисто-теплового лучеиспусканія. Въ этихъ явленіяхъ для всѣхъ тѣлъ

$$\frac{i_\lambda}{a_\lambda} = e_\lambda. \tag{24}$$

Здѣсь e_λ есть вполнѣ опредѣленная и универсальная функція температуры T и длины волны λ. Важность знанія этой функціи вполнѣ сознавалъ самъ Кирхгоффъ; но въ своемъ классическомъ мемуарѣ онъ даже не дѣлаетъ попытки къ опредѣленію вида этой функціи; онъ говоритъ о ней лишь слѣдующее: [1]) „При низкихъ температурахъ эта функція $= 0$ для

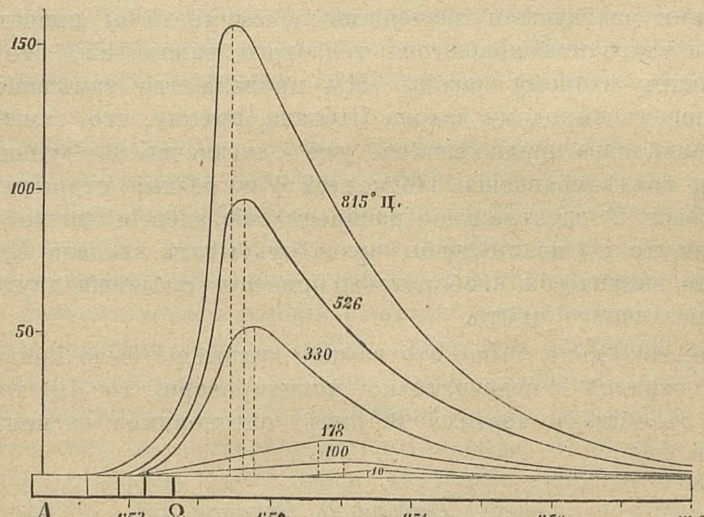
---

[1]) *G. Kirchhoff* „Ueber den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme". Ges. Abh. p. 569.

волнъ видимаго спектра, отлична отъ нуля для болѣе длинныхъ волнъ; при болѣе высокихъ температурахъ функція имѣетъ конечныя значенія и для видимыхъ лучей".

Болѣе полное и конкретное представленіе о значеніи и измѣненіяхъ этой функціи можно было себѣ составить только послѣ изслѣдованій Лэнглея, который въ 1886 году при помощи своего спектро-болометра изучилъ распредѣленіе энергіи въ спектрѣ лучей, испускаемыхъ угольною сажею при нѣсколькихъ различныхъ температурахъ.

На рисункѣ 7 изображены спектральныя діаграммы Лэнглея, причемъ ординаты кривыхъ изображаютъ величину спектральной энергіи различныхъ періодовъ (цвѣтовъ), а абсциссы—величины пропорціональныя показателямъ преломленія каменной соли



фиг. 7.

для каждаго періода. Хотя эти кривыя и относятся къ угольной сажѣ, а не къ идеально-черному тѣлу, хотя онѣ изображаютъ распредѣленіе энергіи въ спектрахъ призматическихъ, а не въ нормальныхъ, тѣмъ не менѣе по нимъ, какъ я показалъ въ другомъ мѣстѣ, можно составить общее представленіе о ходѣ лучеиспусканія чернаго тѣла. Для теоретическаго опредѣленія вида функціи e_λ—вслѣдствіе полной нестройности черной радіаціи — необходимо обратиться къ теоріи вѣроятностей, на что́ я

опредѣленно указывалъ уже въ 1887 году [1]); но, такъ какъ позднѣйшія изслѣдованія показали, что мои формулы въ количественномъ отношеніи не вполнѣ согласуются съ наблюденіями, то я ихъ здѣсь приводить не буду.

Чрезвычайно важными изслѣдованіями въ области изученія нестройной радіаціи мы обязаны В. Вину. Въ 1893 году онъ открылъ новую зависимость лучеиспусканія чернаго тѣла отъ второго закона термодинамики.

Выше мы видѣли, что для каждой температуры существуетъ только *одно* устойчивое, вполнѣ нестройное состояніе лучистой энергіи. Если бы при одной и той же температурѣ функція e_λ могла имѣть различное значеніе для одной и той же длины волны, то разграничивая при помощи избирательно-отражающихъ и избирательно-пропускающихъ пластинокъ, полости съ такими различными значеніями e_λ, мы могли бы вызвать нарушеніе уже установившагося теплового равновѣсія, что противорѣчитъ второму закону. Мы привели это замѣчаніе выше [2]), передъ выводомъ закона Стефана, потому, что самый выводъ послѣдняго предполагаетъ уже однозначность функціи e_λ. Если бы послѣ уравненія плотностей ψ по разныя стороны поршня C (фиг. 2) спектральное распредѣленіе энергіи могло быть различно, то мы не имѣли бы права открывать клапана E, такъ какъ это вызвало бы необоротный процессъ смѣшенія двухъ радіацій различнаго цвѣта.

Но, такъ какъ выше это важное положеніе было приведено только вкратцѣ и недостаточно мотивировано, то мы теперь, слѣдуя въ общихъ чертахъ В. Вину, остановимся на немъ подробнѣе

8. *Теорема В. Вина.*

Измѣнять плотность нестройной радіаціи мы можемъ различными способами:

1) Если радіація эта находится въ термическомъ равновѣсіи со внутреннею теплотою соприкасающихся съ нею матеріальныхъ тѣлъ, имѣющихъ конечную лучеиспускательную способность, то единственнымъ средствомъ измѣнить плотность

---

[1]) Журналъ Русскаго Физико-Химич. Общ. Т. 19. (1887) стр. 79.

[2]) См. стр. 173 (4).

стаціонарной нестройной радіаціи является измѣненіе температуры этихъ тѣлъ. По предыдущему, каждой температурѣ будетъ соотвѣтствовать вполнѣ опредѣленная плотность и опредѣленный составъ лучистой энергіи; если измѣненіе температуры происходитъ медленно, то процессъ можно считать обратимымъ.

2) Если нестройная радіація отдѣлена отъ всякихъ лучеиспускающихъ тѣлъ и заключена во вполнѣ-отражающія (зеркальныя или бѣлыя) оболочки, то мы можемъ измѣнять ея плотность, сжимая или расширяя эти оболочки. Такое измѣненіе объема, занимаемаго нестройною радіаціею, мы называемъ—по аналогіи со сжатіемъ газовъ—адіабатнымъ сжатіемъ или расширеніемъ нестройной лучистой энергіи. Какъ мы уже видѣли выше (стр. 177), въ этомъ случаѣ увеличеніе плотности радіаціи происходитъ отъ двухъ причинъ: во-первыхъ отъ уменьшенія ея объема, и во-вторыхъ отъ работы, которую совершаютъ внѣшнія силы противъ свѣтового давленія. Если измѣненіе объема происходитъ медленно, то процессъ и въ этомъ случаѣ обратимъ.

3) Наконецъ, мы можемъ измѣнять плотность нестройной радіаціи различными необратимыми процессами, какъ то: впуская или выпуская нѣкоторое количество лучистой энергіи чрезъ малое отверстіе въ оболочкѣ, или вводя внутрь оболочки небольшое лучеиспускающее тѣло другой температуры, чѣмъ та, какая соотвѣтствуетъ данной радіаціи, или наконецъ помѣщая внутри оболочки электрическій вибраторъ, который могъ бы возбуждаться извнѣ. При извѣстныхъ условіяхъ испускаемыя такимъ вибраторомъ электромагнитныя волны постепенно будутъ превращаться въ нестройно-распредѣленную лучистую энергію и такимъ образомъ увеличивать плотность первоначально данной радіаціи. Но всѣ эти процессы являются необратимыми, и потому не соотвѣтствуютъ понятію о равновѣсіи. Вслѣдствіе этого пока мы не будемъ на нихъ останавливаться.

Относительно же первыхъ двухъ способовъ измѣненія плотности нестройной радіаціи В. Винъ доказалъ слѣдующую весьма важную теорему [1]).

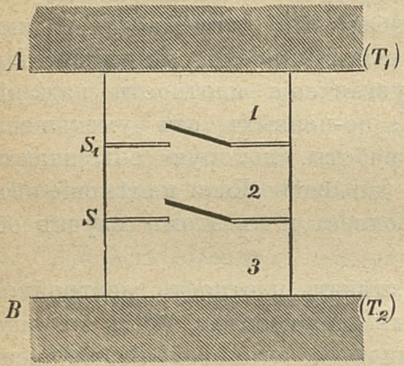
„Если производить измѣненіе плотности нестройной радіаціи съ одной стороны увеличеніемъ температуры лучеиспускаю-

---

[1]) *W. Wien*, Sitzber. d. Berl. Akad. VI. 1893.

щихъ тѣлъ, съ другой стороны—сжатіемъ идеально-бѣлыхъ (отражающихъ) оболочекъ, то одинаковому измѣненію плотности въ обоихъ случаяхъ будетъ соотвѣтствовать и одинаковое измѣненіе состава (т. е. цвѣтовъ) лучистой энергіи. Если въ двухъ сравниваемыхъ процессахъ плотности полной лучистой энергіи окажутся равными, то будутъ равны и плотности энергіи для каждой отдѣльной длины волны".

Для того, чтобы доказать это положеніе вообразимъ себѣ опять два (черныхъ) тѣла A и B (фиг. 8), имѣющихъ абсолютныя температуры T_1 и T_2, причемъ $T_1 > T_2$; пусть эти тѣла соединены зеркальнымъ цилиндромъ, въ которомъ безъ тренія ходятъ два зеркальныхъ поршня S и S_1 съ такими же клапанами. Каждый изъ этихъ поршней (при закрытыхъ клапанахъ) не проницаемъ для лучистой энергіи. Въ началѣ процесса клапанъ S открытъ, а S_1 закрытъ; тѣло B свободно лучеиспускаетъ въ пространства 3 и 2, а тѣло A наполняетъ своею болѣе плотною радіаціею только полость 1; положимъ, что плотность этой нестройной радіаціи $= \psi_1$. Теперь, закрывъ клапанъ въ поршнѣ S, поднимаемъ его дотѣхъ поръ, пока плотность радіаціи въ средней полости 2 несравняется съ ψ_1. Можно доказать, что послѣ этого спектральный составъ радіаціи въ 1 и 2 будетъ одинаковъ. Въ самомъ дѣлѣ, если бы условіе это не было выполнено, то непремѣнно должна была бы существовать нѣкоторая длина волны λ_1, для которой плотность радіаціи въ полости 1 была бы больше, чѣмъ въ полости 2. Допустимъ, что это такъ, и поставимъ передъ клапаномъ S_1 избирательно-отражающую пластинку, которая *преимущественно* пропускаетъ радіацію съ длиною волны λ_1 и преимущественно отражаетъ всѣ остальныя, затѣмъ откроемъ клапанъ S_1. Вслѣдствіе большей плотности радіаціи λ_1 въ 1, чѣмъ въ 2, изъ 1 въ 2 пройдетъ больше лучистой энергіи, чѣмъ въ обратномъ направленіи. Плотность полной энергіи въ 2 сдѣлается больше ψ_1 и вслѣдствіе избытка давленія со стороны объема 2 мы можемъ, опять закрывъ кла-



фиг. 8.

панъ S_1, заставить этотъ поршень передвигаться къ A, совершая нѣкоторую работу a противъ внѣшнихъ силъ до тѣхъ поръ, пока давленія съ обѣихъ сторонъ поршня снова не выравняются. Послѣ этого, удаливъ избирательную пластинку и открывъ клапанъ S_1, возвращаемъ поршень въ его первоначальное положеніе, на что не потребуется никакой затраты внѣшней работы. При этомъ пространство 2 наполнится радіаціею тѣла A. Наконецъ, закрывъ клапанъ S_1, мы могли бы вновь возвратить поршень S въ его первоначальное положеніе, причемъ мы получили бы обратно ту же работу, какую затратили на его перемѣщеніе вверхъ при началѣ процесса. Если послѣ этого еще открыть клапанъ S, то вся система будетъ возвращена въ свое первоначальное состояніе. При этомъ тѣлу B мы возвратимъ столько же (лучистой) теплоты, сколько въ началѣ отняли у него; отъ тѣла A мы заимствовали нѣкоторое количество теплоты a (при лучеиспусканіи чрезъ избирательную пластинку) и *цѣликомъ* превратили ее въ работу; никакихъ другихъ измѣненій въ системѣ не произошло. Но по второму закону термодинамики мы не можемъ *всей* теплоты, заимствованной отъ какого бы то ни было нагрѣтаго тѣла, превращать въ работу безъ соотвѣтственной компенсаціи. Слѣдовательно наше исходное допущеніе о неравенствѣ спектральныхъ распредѣленій энергіи въ 1 и 2, какъ противорѣчающее второму закону, не возможно.

Замѣтимъ, что если бы описанный циклъ былъ возможенъ, то двѣ части процесса были-бы необоротны: а именно смѣшеніе разноцвѣтныхъ радіацій объемовъ 1 и 2 послѣ открытія клапана S_1 и такое же смѣшеніе радіацій въ 2 и 3 при открытіи клапана S въ концѣ процесса. Но эти необоротныя части кругового процесса могли бы только уменьшить его экономическій коэффиціентъ, т. е. ту долю теплоты, которая превращается въ работу. Слѣдовательно необоротность цикла нисколько не нарушаетъ строгости приведеннаго доказательства.

Такимъ образомъ несомнѣнно можно считать установленнымъ, что измѣненіе *состава* нестройной радіаціи, происходящее при ея адіабатномъ сжатіи, *одинаково* съ измѣненіемъ состава ея, вызываемымъ соотвѣтствующимъ повышеніемъ температуры.

9. „Законъ смѣщеній" В. Вина.

Далѣе В. Винъ показалъ, что характеръ измѣненія, производимаго сжатіемъ, можетъ быть точно опредѣленъ на основаніи

принципа Допплера. Если объемъ, занимаемый радіаціею сокращается, то стѣнки оболочки движутся *навстрѣчу* лучамъ: при отраженіи происходитъ *сокращеніе* періода колебаній и длины волнъ. Если наоборотъ емкость зеркальнаго сосуда увеличивается, то стѣнки оболочки какъ бы убѣгаютъ отъ падающихъ на нихъ волнъ: при отраженіи — согласно принципу Допплера — періодъ колебаній увеличивается и длины волнъ *возрастаютъ*.

При выводѣ закона измѣненія цвѣтовъ В. Винъ дѣлаетъ слѣдующія допущенія:

1) Что стѣнки оболочки движутся со скоростью безконечно-малою сравнительно со скоростью свѣта.

2) Что разсѣянную радіацію и въ этомъ случаѣ [1]) можно замѣнить тремя взаимно-перпендикулярными системами строго-параллельныхъ лучей.

3) Что лучистая энергія каждаго отдѣльнаго цвѣта, т. е. опредѣленной длины волны, не можетъ переходить въ лучистую энергію другихъ цвѣтовъ и смѣшиваться съ ними, а имѣетъ свое отдѣльное, индивидуальное существованіе. Монохроматическая радіація, какъ бы ни измѣняла она своего цвѣта подъ вліяніемъ сжатія или расширенія, всегда—по мнѣнію В. Вина—остается монохроматическою.

Первое изъ этихъ трехъ допущеній не только вполнѣ естественно, но и *необходимо* для того, чтобы процессъ оставался оборотнымъ, чтобы радіація во все время измѣненія объема не удалялась отъ состоянія устойчиваго теплового равновѣсія т. е. состоянія полной нестройности.

Второе и третье допущенія тѣсно связаны между собою: одно изъ нихъ обусловливаетъ другое. Но, на мой взглядъ, ни одно изъ нихъ не получило до сихъ поръ достаточнаго обоснованія.

Дѣло въ томъ, что въ разсѣянной радіаціи различные лучи одного цвѣта падаютъ на движущійся поршень В. Вина подъ весьма различными углами, а потому—согласно принципу Допплера—при своемъ отраженіи отъ этого поршня претерпѣваютъ различныя измѣненія періода колебаній: лучи, падающіе и отраженные перпендикулярно, претерпѣваютъ наибольшее измѣненіе

---

[1]) Какъ и при вычисленіи свѣтового давленія; см. выше, стр. 176.

длины волны; чѣмъ болѣе наклонно падаетъ или отражается какой-нибудь лучъ, тѣмъ меньшее измѣненіе періода (онъ получитъ—пропорціональное косинусу угла паденія или отраженія. Поэтому мнѣ кажется очевиднымъ, что *разсѣянная* монохроматическая радіація можетъ оставаться монохроматическою только до тѣхъ поръ, пока объемъ ея остается строго постояннымъ. Всякое измѣненіе объема нарушаетъ монохроматичность разсѣянной радіаціи и приближаетъ ее къ состоянію наибольшей нестройности, т. е. къ радіаціи чернаго тѣла.

Въ этомъ отношеніи всякое конечное измѣненіе объема должно дѣйствовать аналогично введенію лучеиспускающаго тѣла соотвѣтственной температуры.

Но, хотя такимъ образомъ 2-ое и 3-ье положенія В. Вина не выдерживаютъ критики, тѣмъ не менѣе приложеніе ихъ къ изученію нестройной радіаціи приводитъ къ результатамъ, которые оправдываются опытомъ, и притомъ, какъ показываютъ новѣйшія изслѣдованія, оправдываются тѣмъ точнѣе, чѣмъ болѣе совершенствуются методы болометрическихъ измѣреній.

Поэтому, чтобы все-таки имѣть право примѣнять допущеніе 2-ое и чтобы выяснить истинный смыслъ закона, открытаго В. Виномъ, мы должны, какъ мнѣ кажется, формулировать положенія 2-е и 3-е слѣдующимъ образомъ: измѣненіе спектральнаго состава нестройной радіаціи при ея адіабатномъ сжатіи происходитъ такъ, *какъ будто бы* каждая изъ входящихъ въ составъ ея монохроматическихъ радіацій измѣняла свой цвѣтъ независимо отъ всѣхъ остальныхъ и состояла изъ трехъ взаимно-перпендикулярныхъ пучковъ строго параллельныхъ лучей. Положеніе это ничуть не очевидно само по себѣ и оправдывается лишь *a posteriori* — опытною провѣркою вытекающихъ изъ него слѣдствій. Но разъ мы его допустимъ, то намъ уже нетрудно будетъ и количественно формулировать такъ называемый „законъ смѣщеній" В. Вина. Названный авторъ выводитъ его изъ принципа Допплера при помощи высшаго анализа. Мы же получимъ его элементарнымъ путемъ (можетъ быть менѣе строго, но за-то нагляднѣе) изъ разсмотрѣнія стоячихъ волнъ.

Мы видѣли, что какъ давленіе, такъ и составъ нестройной радіаціи зависятъ исключительно отъ ея плотности и нисколько не зависятъ отъ формы той оболочки, въ которую она заключена. Поэтому изъ разсматриваемой нами радіаціи выдѣлимъ

мысленно нѣкоторый кубъ; ограничимъ его идеально зеркальными гранями, и предположимъ, что онъ измѣняетъ свой объемъ, все время оставаясь кубомъ.

Каждую изъ монохроматическихъ радіацій, входящихъ въ составъ нашей вполнѣ нестройной черной радіаціи, разложимъ на три взаимно-перпендикулярныя составляющія, параллельныя ребрамъ нашего куба; каждая изъ составляющихъ будетъ представлять собою одну треть радіаціи даннаго цвѣта; въ теченіе небольшаго промежутка времени мы можемъ разсматривать ее какъ поляризованную. А въ такомъ случаѣ между каждою парою противоположныхъ и параллельныхъ граней куба образуется система стоячихъ волнъ [1]). Если мы допустимъ, что порядокъ того высшаго гармоническаго тона, который издаетъ каждый изъ нашихъ кубовъ эѳира во время увеличенія или уменьшенія объемовъ послѣднихъ не измѣняется, то необходимо принять также, что число *узловъ* и *пучностей* каждаго колебанія остается постояннымъ. Слѣдовательно длина волны λ каждаго монохроматическаго колебанія будетъ измѣняться прямо-пропорціонально *ребру куба* или прямо - пропорціонально *кубичному корню изъ его объема.*

Обозначимъ чрезъ λ_1 длину волны нѣкоторой монохроматической радіаціи, входящей въ составъ черной радіаціи плотности ψ_1; положимъ, что радіація при этомъ занимаетъ объемъ a_1. Когда вся нестройная радіація будетъ расширена до объема a_2 и при этомъ получитъ плотность ψ_2, то вышеупомянутая монохроматическая радіація длины волны λ_1 замѣнится [2]) нѣкоторою другою также монохроматическою радіаціею длины волны λ_2, притомъ такъ, что

$$(25) \qquad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt[3]{\frac{a_1}{a_2}}.$$

Это уравненіе показываетъ намъ, какъ измѣняется длина волны каждой изъ составныхъ частей нестройной радіаціи при ея адіабатномъ сжатіи или расширеніи.

Выше [3]) мы видѣли, что для того, чтобы плотность вполнѣ нестройной радіаціи изъ ψ_1 стала ψ_2, необходимо адіабатное

---

[1]) Для каждаго цвѣта мы можемъ взять свой особый кубикъ и выбрать ребро его такъ, чтобы оно содержало цѣлое число полуволнъ первоначальной длины.

[2]) По В. Вину—превращается въ нее. [3]) См. стр. 178.

расширеніе, которое (при малой разности между ψ_2 и ψ_1) опредѣляется уравненіемъ

$$a_2 - a_1 = b = \frac{6\,a_1\,(\psi_1 - \psi_2)}{\psi_1 + 7\,\psi_2};$$

отсюда получаемъ

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{\psi_1 + 7\psi_2}{7\,\psi_1 + \psi_2} = \frac{8\,\psi_2 + (\psi_1 - \psi_2)}{8\psi_1 - (\psi_1 - \psi_2)} \tag{26}$$

или, вводя прежнее обозначеніе ($x = 1 - \psi_2/\psi_1$),

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{8 - 7\,x}{8 - x} = 1 - \frac{3}{4}\,x - \frac{3}{32}\,x^2 - \frac{3}{256}\,x^3 \ldots$$

Но нашъ рядъ, полученный простымъ дѣленіемъ, лишь на безконечно-малую величину третьяго порядка отличается отъ разложенія по биному Ньютона выраженія $(1-x)^{4/3}$; поэтому въ предѣлѣ можно положить

$$\frac{a_1}{a_2} = (1 - x)^{\frac{3}{4}} = \left(\frac{\psi_2}{\psi_1}\right)^{\frac{3}{4}} \tag{27}$$

Сравнивая урр. (25) и (27) находимъ

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt[4]{\frac{\psi_2}{\psi_1}}. \tag{28}$$

Это замѣчательное соотношеніе, найденное В. Виномъ, показываетъ, что спектральный составъ нестройной (черной) радіаціи при измѣненіи ея плотности измѣняется такъ, какъ будто бы каждая отдѣльная монохроматическая радіація измѣняла свою длину волны *обратно-пропорціонально корню четвертой степени изъ плотности всей радіаціи.* При этомъ безразлично, будетъ-ли увеличеніе плотности происходить вслѣдствіе адіабатнаго сжатія зеркальныхъ оболочекъ или вслѣдствіе повышенія температуры лучеиспускающихъ оболочекъ.

Наконецъ, примѣняя доказанный выше законъ Стéфана-Больцмана (Форм. 17), находимъ

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{T_2}{T_1}. \tag{29}$$

При измѣненіи температуры лучеиспускающей оболочки, заключающей въ себѣ вполнѣ нестройную радіацію, спектральный составъ этой радіаціи измѣняется такъ, *какъ будто бы* длина волны каждой отдѣльной монохроматической радіаціи измѣнялась обратно-пропорціонально абсолютной температурѣ.

Это есть такъ называемый „законъ смѣщеній" В. Вина. Онъ, какъ и законъ Стефана, относится только къ радіаціи вполнѣ нестройной, т. е. къ лучеиспусканію идеально-чернаго тѣла.

При формулировкѣ этого, равно какъ и предыдущаго положенія я вставилъ слова „какъ будто бы", ибо считаю несомнѣннымъ, что въ черной радіаціи отдѣльныя монохроматическія составныя части ея не имѣютъ каждая своего индивидуальнаго существованія, но непрерывно обмѣниваются своими энергіями. Если бы такого непрерывнаго обмѣна энергіи между отдѣльными радіаціями не происходило, то я не вижу, чѣмъ бы мы могли раціонально объяснить однозначность функціи Кирхгоффа e_λ и динамическую *устойчивость* нестройной радіаціи. Если бы колебанія каждаго періода сохраняли свою индивидуальную энергію неограниченно долго, то при *всякомъ* распредѣленіи энергіи между этими колебаніями лучистая теплота находилась бы въ равновѣсіи: по отношенію къ спектральному распредѣленію равновѣсіе черной радіаціи (какъ и всякой другой) было бы *безразлично*, а не устойчиво. Между тѣмъ наибольшее значеніе энтропіи и наибольшая термическая устойчивость для черной радіаціи несомнѣнно вытекаютъ изъ всѣхъ существующихъ теорій.

Въ этомъ отношеніи нестройная радіація, заключенная въ непрозрачную оболочку, существенно отличается отъ радіаціи свободно распространяющейся въ эѳирѣ. Здѣсь опредѣленный періодъ колебаній неразрывно связанъ съ каждымъ элементомъ энергіи, и послѣдняя вполнѣ характеризуется именно періодомъ наряду съ амплитудою и азимутомъ поляризаціи. При удаленіи отъ источника и при прохожденіи чрезъ различныя среды амплитуда и поляризація могутъ измѣняться: остается неизмѣннымъ (кромѣ нѣкоторыхъ рѣдкихъ случаевъ) только періодъ. Онъ то и приноситъ намъ вѣсти изъ самыхъ отдаленныхъ звѣздныхъ міровъ, давая въ спектроскопѣ тонкія линіи. Но въ нестройной радіаціи чернаго тѣла нѣтъ и слѣда какихъ-либо линій, нѣтъ и неразрывной связи періода съ индивидуальными частя-

ми лучистой энергіи. Нѣкоторая доля энергіи каждаго періода непрерывно поглощается стѣнками сосуда и замѣняется эквивалентнымъ количествомъ лучеиспускаемой энергіи того же періода, но заимствованной изъ теплового запаса оболочки или изъ энергіи другихъ поглощенныхъ радіацій. Въ этой замѣнѣ однихъ элементовъ энергіи другими, на мой взглядъ, заключается одна сторона закона Кирхгоффа. Подобно тому, какъ тепловое равновѣсіе газа, характеризуемое закономъ Максвелля, поддерживается лишь благодаря непрерывному обмѣну скоростей между различными молекулами газа, такъ и законъ Кирхгоффа оправдывается лишь вслѣдствіе непрерывнаго обмѣна энергіи между колебаніями различныхъ періодовъ. Въ этомъ и заключается та внутренняя связь между этими двумя законами, которую я пытался схематически формулировать уже 14 лѣтъ тому назадъ.

(Окончаніе слѣдуетъ).

Пасхальное засѣданіе 1901 г. французскаго физическаго Общества [1])

Э. Ротэ.

I. Выставка.

По примѣру прежнихъ лѣтъ 12 и 13 августа физическое Общество сдѣлало выставку въ своемъ помѣщеніи, Hôtel de la Société d'Encouragement. Ровно годъ тому назадъ открывалась всемірная выставка; можно было опасаться, что послѣ этого наши механики, утомленные долгимъ напряженіемъ силъ, предадутся вполнѣ заслуженному отдыху и не представятъ ничего

---

[1]) Ежегодно, во время пасхальныхъ каникулъ французское физическое Общество устраиваетъ особое засѣданіе—Séance de Paques; обыкновенно на этомъ засѣданіи выставляютъ новѣйшіе приборы; въ нынѣшнемъ году кромѣ того былъ прочитанъ рядъ лекцій. Желая ознакомить своихъ читателей съ этимъ пасхальнымъ засѣданіемъ, редакція *Физическаго Обозрѣнія* обратилась къ г. Ротэ (Ed. Rothé, agrégé des sciences physiques) съ просьбою описать выставку и изложить лекціи. Настоящая статья представляетъ переводъ съ рукописи г. Ротэ.

новаго; но, напротивъ того, поощренные мирнымъ торжествомъ предыдущаго года, они и въ нынѣшнемъ году устроили необыкновенно блестящую выставку.

Если иногда пасхальныя засѣданія, представляютъ собою повтореніе засѣданій предшествующаго года, они — благодаря вакаціонному времени — всегда имѣютъ то особенность, что на нихъ съѣзжаются профессора изъ провинцій. На засѣданіяхъ нынѣшняго года мы видѣли представителей почти всѣхъ французскихъ факультетовъ; ими демонстрировались новые опыты или показывались новые приборы. Все это много содѣйствовало успѣху выставки.

1. Электричество.

Главное мѣсто занимали, конечно, электрическіе приборы, которые быстрѣе другихъ совершенствуются. По новизнѣ останавливали вниманіе приборы электрическаго нагрѣванія, все болѣе и болѣе распространяющіеся. Пользуясь металло-керамическими сопротивленіями, Парвилье (Parvillée) устроилъ электрическіе паяльники, утюги, песочныя бани, грѣлки и т. п., потребляющіе отъ 2 до 15 amp. Интересно примѣненіе металло-керамическихъ сопротивленій къ устройству реостатовъ; занимая мѣсто въ 20×20 cm. и вѣся лишь 1200 граммовъ, такой реостатъ поглощаетъ 25 amp. при 110 volts; приборъ въ 10 cm. длины и 1 cm. ширины достигаетъ сопротивленія въ мегаомъ и слѣд. замѣняетъ прежнія большія сопротивленія, которыя получались отъ графитовой линіи проведенной на эбонитѣ.

Послѣ работъ Муассана электрическая печь пріобрѣла важное значеніе. Меланъ и Пуленъ (Meslans et Poulenc) выставили очень удобную печь: она состоитъ изъ 2 частей, удобоподвижныхъ около шарнира: приподнимая время отъ времени верхнюю часть, къ которой прикрѣпленъ одинъ изъ электродовъ, наблюдатель открываетъ тигель и можетъ такимъ образомъ слѣдить за совершающимся въ немъ процессомъ.

Примѣненіе электричества къ химической промышленности было представлено новыми электролизаторами Пейрюсона (Peyrusson) и распредѣлительными досками, при помощи которыхъ съ однимъ токомъ, однимъ вольтметромъ и однимъ амперметромъ можно одновременно производить нѣсколько анализовъ и точно слѣдить за каждымъ изъ нихъ, хотя бы условія и были очень различны.

Изъ числа чисто-промышленныхъ приборовъ слѣдуетъ отмѣтить распредѣлительныя доски, имѣющія такую важность для быстроты манипуляцій и постоянно совершенствующіяся. Успѣхи автомобилей выдвинули вопросъ о распредѣлителяхъ, спеціально назначенныхъ для электрической тяги; таковы распредѣлители Гривола, Сажа и Гриле и др.

Двигатели и трансформаторы тоже очень быстро измѣняются. Отмѣтимъ коллекцію малыхъ лабораторныхъ двигателей Блондо (Blondeau) и Сюэно (Cuénod), динамомашины, трансформаторы и вентиляторы Ильина-Берлина (Iïyne-Berline). Во всѣхъ этихъ приборахъ замѣтны значительныя усовершенствованія; они будутъ еще совершенствоваться по мѣрѣ того, какъ свойства желѣза станутъ лучше извѣстны. Изслѣдованія надъ намагниченіемъ привели Вейса къ изобрѣтенію новой формы электромагнита: двѣ бобины помѣщены близъ полюсовъ, какъ и въ старой модели Румкорфа, но средняя часть сердечника также окружена сильною бобиною; такой электромагнитъ даетъ очень сильное поле.

Особенно интересны электромагниты, выставленные фирмою A. Guenée et C[ie]; это настоящіе электродвигатели: сравнительно малыхъ размѣровъ приборъ можетъ поднимать грузъ въ 650 kgr. на высоту 22 cm.; дѣйствіе его основано на притяженіи чугуннаго сердечника, испытываемаго имъ въ магнитномъ полѣ системы соленоидовъ. Эти электромагниты очень удобно употреблять для маневрированія на разстояніи съ прерывателями, семафорами, толкушкою и т. п.

Обратимся теперь къ электрическому освѣщенію. Особенно интересны лампы Гинара (Guinard) и Солиньяка (Solignac); ихъ свѣтъ въ 40 свѣчей обходится 2·5 сантима въ часъ, тогда какъ другія лампы той же силы расходуютъ электричества по крайней мѣрѣ на 12 сантимовъ въ часъ. Между дуговыми лампами особенно интересна лампа Тюри (Thury) съ автоматическимъ регуляторомъ, дѣйствіе котораго совершенно правильно.

Для широкаго распространенія электрическаго тока надо его удешевить. Вопросъ объ электрическомъ переносѣ энергіи имѣетъ громадную важность. Въ видахъ экономіи электрическую энергію посылаютъ при 40000 volts. Но фарфоровые изоляторы образуютъ конденсаторы значительной емкости, въ которыхъ фарфоръ играетъ роль діэлектрика, а обкладками служатъ съ одной стороны кабель, а съ другой желѣзный крючокъ, поддер-

живающій изоляторъ и соединенный съ землею. Помимо того, что введеніе этихъ емкостей вдоль линіи представляетъ много затрудненій для распредѣленія тока, часто случается, что при тѣхъ высокихъ напряженіяхъ, которыя тутъ употребляются, фарфоръ пробивается. Съ цѣлью уменьшить емкость системы общество Парвилье устраиваетъ внутри изолятора воздушную камеру (воздухъ имѣетъ меньшую діэлектрическую постоянную, чѣмъ фарфоръ), вслѣдствіе чего пробиваніе изолятора невозможно даже для токовъ высокихъ напряженій.

Тутъ мы далеки отъ явленій, представляемыхъ слабыми источниками электричества, но тѣмъ не менѣе изумлявшихъ когда-то физиковъ. И все-таки изученіе гальваническаго элемента далеко еще не закончено! Росе сдѣлалъ значительный успѣхъ въ этомъ направленіи, найдя деполяризаторъ, который непрерывно возобновляется. Въ его самовозраждающемся элементѣ (pile autorégénératrice), похожемъ на элементъ Лекланше, въ качествѣ деполяризатора употребляется аміачное соединеніе окиси мѣди; деполяризуя цинкъ, эта окись переходитъ въ закись; но подъ вліяніемъ кислорода воздуха она почти тотчасъ же возвращается въ состояніе окиси. Цинкъ растворяется совершенно правильно и, какъ доказываютъ опыты, сдѣланные въ Laboratoire central d'électricité, если время отъ времени замѣнять цинковую палочку (которая одна расходуется), то элементъ всегда готовъ дѣйствовать.

Дѣйствительно практическій типъ аккумуляторовъ до сихъ поръ еще не найденъ. Д'Арсонваль и Вожуа выставили новую модель съ слоистыми пластинками (plaques à lamelles).

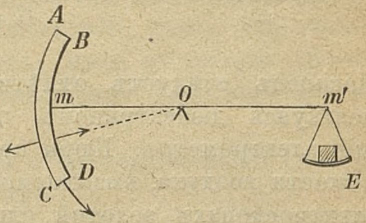
Нельзя сказать, чтобы измѣрительные приборы вовсе не усовершенствовались съ прошлаго года; впрочемъ измѣненія касаются конструктивныхъ деталей и то лишь въ техническихъ приборахъ. Ясно замѣчается тенденція употреблять термическіе приборы. Шовенъ и Арну выставили коллекцію термическихъ амперметровъ, въ которыхъ токъ нагрѣваетъ мѣдную проволоку. Въ термическомъ вольтметрѣ Ришара проволоку, которая нагрѣвается токомъ, дѣлаютъ изъ сплава, сопротивленіе котораго не измѣняется съ температурою, а компенсаторъ изъ никкелистой стали. Эти вольтметры и уаттметры превращены Ришаромъ въ самопишущіе приборы.

Жапи выставилъ цѣлый рядъ счетчиковъ. Первое достоинство счетчика заключается въ простотѣ его устройства и въ

отсутствіи такихъ частей, которыя бы требовали точнаго регулированія. Счетчики Жапи вполнѣ удовлетворяютъ этимъ условіямъ; въ сущности это уаттметры-тотализаторы (wattmètres totaliseurs). Для постояннаго тока это электродинамическій двигатель, въ которомъ наводящія катушки протекаются главнымъ токомъ, а подвижныя катушки—отвѣтвленнымъ токомъ; плоская форма наведенной катушки уменьшаетъ размѣры прибора, а замѣна мѣди алюминіемъ въ демпфирующемъ дискѣ уменьшаетъ его вѣсъ и треніе. Въ счетчикахъ для перемѣннаго тока алюминіевый дискъ вращается подъ дѣйствіемъ поля.

Лабораторные приборы не многочисленны. Карпантье экспонировалъ большой ящикъ сопротивленій и потенціометръ, общій видъ котораго напоминаетъ ариѳмометръ; онъ находился на всемірной выставкѣ и обращалъ вниманіе совершенствомъ своей конструкціи. Фирма Cance et fils выставила геликоидальные реостаты, при помощи которыхъ можно непрерывно измѣнять сопротивленіе цѣпи; эти реостаты незамѣнимы для лабораторій.

Новѣйшій изъ встрѣчаемыхъ здѣсь приборовъ устроенъ Коттономъ и предназначенъ для измѣренія напряженія магнитнаго поля; онъ описанъ въ „Séances de la Société française de physique“ 1900 г. (p. 148): вѣсомъ груза измѣряютъ электромагнитную силу, съ которою поле дѣйствуетъ на подвижный элементъ тока. Токъ пропускается чрезъ проволочную рамку $ABCD$ (фиг. 1), въ которой стороны AC и BD имѣютъ форму дугъ круговъ съ центромъ въ O, а стороны AB и CD — направлены по радіусамъ этихъ круговъ; рама $ABCD$, прикрѣплена къ концу коромысла mm' вѣсовъ съ точкою опоры въ O; близъ точки m концы проволоки рамы соединяются съ проводниками, идущими вдоль коромысла; свободные концы этихъ проводниковъ отогнуты и, близъ точки O, опущены въ чашечки со ртутью, соединенныя съ источникомъ тока. Представимъ себѣ, что нижняя радіальная сторона CD рамки помѣщена между полюсами электромагнита, т. е. въ ограниченное магнитное поле; напряженіе этого поля назовемъ H и положимъ, что оно гори-



фиг. 1.

зонтально, именно направлено перпендикулярно къ плоскости рамы; тогда на стороны AC и BD дѣйствуютъ электромагнитныя силы, проходящія чрезъ точку опоры O, и слѣд. не дающія момента вращенія; на сторону AB, далекую отъ полюсовъ, поле дѣйствуетъ со столь малою силою, которою можно пренебречь; наконецъ, на сторону BC дѣйствуетъ электромагнитная сила, направленная перпендикулярно какъ къ полю, такъ и къ току, а слѣд. и къ плечу OC; если чрезъ l назовемъ длину CD, то величина этой силы будетъ

$$f = Hli,$$

гдѣ i — токъ, пропущенный чрезъ рамку. Если l выражено въ центиметрахъ, H и i въ абсолютныхъ единицахъ, то сила f будетъ здѣсь выражена въ динахъ; если же токъ выраженъ въ амперахъ, то

$$f = \frac{Hli}{10}.$$

Въ описываемомъ приборѣ силу f находятъ по вѣсу того груза, который надо положить на чашку E, чтобы привести коромысло въ равновѣсіе; если эту силу мы выразимъ числомъ n граммовъ груза, то $f = 981\,n$ динъ, и

$$H = \frac{9810\,n}{li}.$$

Наконецъ слѣдуетъ отмѣтить два электроскопа. Гурмузеску, пользуясь діэлектриномъ, превратилъ электроскопъ въ настоящій электрометръ; Кюри приспособилъ его къ изученію проводимости воздуха, вызываемой радіоактивными тѣлами. Въ этихъ электроскопахъ золотой или алюминіевый листочекъ прикрѣпленъ къ неподвижной мѣдной пластинкѣ, тщательно изолированной отъ окружающей клѣтки; листочекъ и клѣтка соединены съ обкладками конденсатора; тонкій слой радіоактивнаго вещества помѣщается на нижнюю обкладку и разряжаетъ электроскопъ; на листочекъ смотрятъ чрезъ микроскопъ съ микрометреннымъ окуляромъ и слѣдятъ за скоростью его разряженія.

2. *Радіація, радіографія и фотографія.*

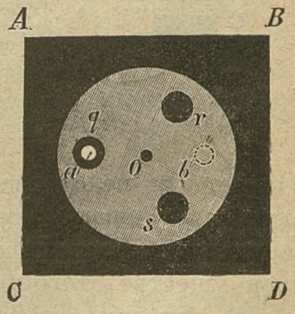
Описанный электроскопъ сопровождается прекрасною коллекціею радіоактивныхъ веществъ, приготовляемыхъ теперь въ Société centrale des produits chimiques: азотнокислый висмутъ и по-

лоній супруговъ Кюри, висмутъ-полоній въ металлическомъ состояніи, хлористые барій и радій различной активности, служившіе для опытовъ Кюри, и актиній Дебьерна, обладающій способностью наводить радіоактивность, т. е. на болѣе или менѣе долгое время сообщать барію радіоактивныя свойства радія.

Изучая активность, свойственную различнымъ веществамъ, эти послѣднія не слѣдовало бы заключать въ стеклянную оболочку; но они очень быстро теряютъ свою активность, если окружены влажною атмосферою. Очень удобенъ дискъ съ радіемъ (см. стр. 103).

Самыя разнообразныя круксовскія трубки были выставлены Шабу; въ одной трубкѣ антикатодъ поддерживался при низкой температурѣ (онъ былъ сдѣланъ полымъ и наполнялся водою), другія трубки были съ двумя анодами. Лекармъ и Мишель выставили полную радіографическую станцію и коллекцію снимковъ, сдѣланныхъ докторомъ Арну въ hôpital St. François. Въ настоящее время большинство больницъ снабжены радіографическими кабинетами; въ Парижѣ самый большой изъ нихъ находится въ больницѣ Неккера подъ управленіемъ Контремулена; этотъ ученый распространилъ на весь организмъ радіографическій способъ отысканія постороннихъ тѣлъ; его приборъ позволяетъ снять обыкновенную радіографію во вполнѣ опредѣленныхъ условіяхъ или стереоскопическую радіографію такъ, что можно измѣрять кости или наросты на нихъ; имѣя въ своихъ рукахъ подобную радіографію, операторъ совершенно избавленъ отъ необходимости оріентироваться.

Вилляръ демонстрировалъ свой стереоскопическій окуляръ (oculaire stéréoscopique synchrone). Флуоресцирующій экранъ наблюдается чрезъ доску *ABCD* (фиг. 2) съ двумя отверстіями, *a* и *b*, къ которымъ приставляютъ глаза; передъ отверстіями находится дискъ (удобоподвижный около оси, проходящей чрезъ его центръ *O* и средину между отверстіями *a* и *b*) съ тремя дырами *q*, *r* и *s*, расположенными въ разстояніи 120° другъ отъ друга; этотъ дискъ приводится въ быстрое вращеніе небольшимъ шестиполюснымъ двигателемъ; одинъ глазъ наблюдателя открывается при четныхъ токахъ, дру-

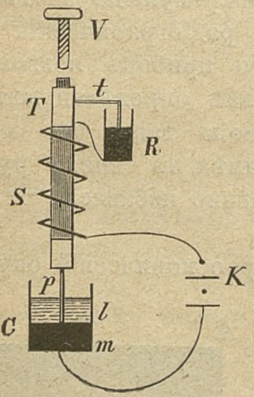


Фиг. 2.

гой—при нечетныхъ. При помощи такого прибора стереоскопически виденъ предметъ, помѣщенный между флуоресцирующимъ экраномъ и двумя круксовскими лампочками, питаемыми трансформаторомъ, вторичная обмотка котораго раздвоена; одна изъ трубокъ свѣтитъ при четныхъ замыканіяхъ, другая—при нечетныхъ.

Значительное развитіе радіографіи вызвало усовершенствованія въ конструкціи индукторовъ; теперь большіе индукторы устраиваютъ такъ, чтобы ихъ можно было прямо соединять съ городскою сѣтью. Наибольшая искра получается при употребленіи электролитнаго прерывателя Венельта. Впрочемъ этотъ замѣчательный приборъ не остановилъ изобрѣтателей и мы видимъ цѣлый рядъ новыхъ механическихъ прерывателей.

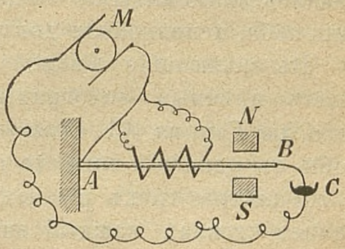
Лекармъ и Мишель устроили очень простой прерыватель, основанный на притяженіи желѣза соленоидомъ. Приборъ состоитъ изъ стержня T (фиг. 3), средняя часть котораго сдѣлана изъ желѣза, а концы изъ латуни; онъ свободно двигается въ проволочной спирали S; верхній конецъ стержня при помощи проволочки t соединяется со ртутью металлическаго стакана R, а нижній его конецъ — чрезъ проволочку p—съ металлическимъ стаканомъ C, наполненнымъ до половины ртутью m, поверхъ которой налита изолирующая жидкость l. Батарея K соединена со стаканомъ C и съ однимъ концомъ соленоида S, другой конецъ которой соединенъ со стаканомъ R. Какъ скоро стержень R опустится и цѣпь замкнется, соленоидъ S, втягивая сердечникъ, подниметъ его, вслѣдствіе чего цѣпь разомкнется; поднимающійся стержень ударяетъ въ неподвижный винтъ V и, отталкиваясь отъ него, опускается внизъ, замыкаетъ цѣпь и т. д. Движенія стержня, регулируются перемѣщеніями стакановъ C и винта V. Большое преимущество этого прерывателя-толкушки заключается въ его крайне простомъ устройствѣ; регулируя движенія желѣза, получаемъ или рѣдкія прерыванія—отъ двухъ до десяти въ секунду, или столь же частыя, какъ въ дрожащемъ прерывателѣ Депре



фиг. 3.

д'Арсонваля. Всѣмъ извѣстны электромагнитные камертоны-прерыватели; такой приборъ, устроенный Шабо даетъ 2500 прерываній въ минуту и можетъ употребляться при электродвижущихъ силахъ отъ 6 до 220 volt.

Часто располагаютъ только перемѣннымъ токомъ; для такого тока Вилляръ устроилъ ртутный прерыватель, примѣнимый какъ къ индуктору Румкорфа, такъ и къ заряженію аккумуляторовъ перемѣнными токами; онъ состоитъ изъ желѣзной пластинки AB (фиг. 4), укрѣпленной съ одного конца и снабженной проволочкою на другомъ; перемѣнный токъ идетъ отъ A въ B чрезъ пластинку AB, чашечку со ртутью C, въ которую входитъ эта проволочка; когда пластинка приподнимается и проволочка выходитъ изъ ртути, токъ прерывается; въ отвѣтвленіи помѣщена катушка, окружающая желѣзную пластинку; свободный конецъ пластинки помѣщенъ между полюсами постояннаго магнита NS. Измѣняя длину пластинки, добиваются того чтобы ея періодъ колебаній сравнялся съ періодомъ тока; затѣмъ особымъ вспомогательнымъ приборомъ фазу отвѣтвленнаго тока измѣняютъ такъ, чтобы перерыванія происходили или когда главный токъ исчезаетъ, или когда онъ достигаетъ наибольшей величины, смотря потому хотятъ-ли мы заряжать аккумуляторы или заставить дѣйствовать индукторъ.



фиг. 4.

Всѣ эти прерыватели примѣнимы какъ къ радіографіи, такъ и къ безпроволочному телеграфу. Послѣдній не представляетъ уже новость. Видоизмѣненія его очень незначительны. Лекармъ и Мишель выставили приборъ, который съ успѣхомъ дѣйствовалъ на Монбланѣ; пріемниками служили устроенные самимъ Бранли трубочки съ золотыми опилками.

3. *Оптика.*

Проекціонные приборы все болѣе распространяются: теперь не бываетъ лекціи безъ свѣтовыхъ проекцій или кинематографа. Радиге и Массіо устроили приборъ, который можетъ служить для проложенія какъ неподвижныхъ, такъ и „живыхъ" фотографій. Объективъ даетъ поле въ 3 m. на разстояніи 7 m.

Другой кинематографъ выставленъ Гомономъ; онъ работаетъ безъ всякаго шума и его проекціи не сопровождаются столь непріятными для глазъ мерцаніями свѣта. Гомонъ хотѣлъ показать научное и техническое значеніе кинематографа: на его демонстраціяхъ мы присутствовали при всѣхъ манипуляціяхъ отливки металла и при различныхъ хирургическихъ операціяхъ; послѣднее примѣненіе имѣетъ большое значеніе въ медицинскомъ преподаваніи: можно запечатлѣть на прозрачной лентѣ и затѣмъ воспроизводить передъ глазами слушателей операціи, которыя дѣлались знаменитыми спеціалистами; намъ была показана операція зоба, исполненная докторомъ Дуаеномъ и его ассистентами.

Въ заключеніе Радиге при помощи хромоскопа демонстрировалъ цвѣтныя фотографіи. Извѣстно, что способъ Кросса и Дюко дю Горона (Ch. Cross et Ducos du Hauron) состоитъ въ томъ, чтобы съ одного и того же предмета снять три фотографіи чрезъ свѣтофильтры трехъ разныхъ цвѣтовъ (чрезъ красное, зеленое и синее стекла); каждый снимокъ дается тѣми лучами, которые пропускаются соотвѣтствующимъ фильтромъ; затѣмъ приготовляютъ діапозитивы, накрываютъ ихъ соотвѣтствующими фильтрами и вставляютъ въ фонарь съ тремя объективами, которые проектируютъ всѣ три фотографіи на одно мѣсто экрана; получается изображеніе, окрашенное въ тѣ же цвѣта, какъ и предметъ.

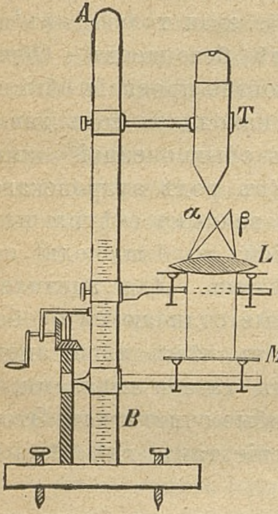
Въ хромоскопѣ обыкновенно употребляютъ друммондовъ свѣтъ. Автоматическіе регуляторы электрическаго свѣта до сихъ поръ оставляютъ многого желать: очень часто угли слипаются, и тогда приходится прерывать проектированіе. Теперь усилія конструкторовъ направлены ко выработкѣ удобнаго ручнаго регулятора. Въ Сорбоннѣ употребляется дуговая лампа Мольтени очень простая по устройству, регулируемая руками по всѣмъ направленіямъ: по вертикальному кремальеркою, вбокъ—винтомъ, по наклонному направленію — вилкою; нижній уголь можно поворачивать (въ оправѣ) около его оси, положеніе верхняго угля регулируется помощью винтика. Послѣдняя модель Радиге и Массіо очень усовершенствована: нижній уголь горизонталенъ, а верхній вертикаленъ; кратеръ представляется въ видѣ очень яркой свѣтящей точки, которая удерживается неподвижною при помощи системы вилокъ и винтовъ.

Мы замѣтили еще другую систему освѣщенія проекціонныхъ фонарей, дающую блестящіе результаты—это при помощи раствореннаго ацетилена. Газообразный ацетиленъ очень неудо-

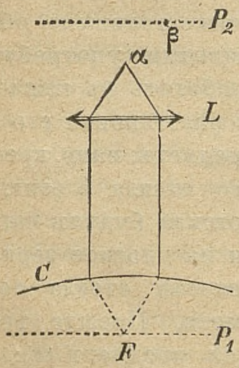
бенъ; несчастные случаи, сопровождавшіе употребленіе сжатаго ацетилена, заставили совершенно отъ него отказаться; работы Бертело и Вьеля выяснили, что сила взрыва ацетилена становится значительною, когда его давленіе достигаетъ 2 atm.; напротивъ того, растворъ ацетилена въ ацетонѣ, если только онъ находится подъ слабымъ давленіемъ, вполнѣ безопасенъ. Общество раствореннаго ацетилена демонстрировало проекціи обыкновенныхъ и цвѣтныхъ фотографій; растворъ находился подъ давленіемъ 10 atm.; сжиганіе производилось въ обыкновенной лампѣ или въ горѣлкѣ съ чулкомъ „Сиріусъ" (въ родѣ ауэровскаго); этотъ чулокъ можно употреблять съ обыкновеннымъ свѣтильнымъ газомъ, но съ ацетиленомъ (подъ давленіемъ въ 1 m. воды) онъ такъ раскаляется, что великолѣпно свѣтитъ. Для ацетилена приготовляютъ спеціальные чулки, которые отличаются особенною прочностью; они тѣмъ дольше служатъ, чѣмъ чище ацетиленъ; въ виду этого между резервуаромъ газа и каналами, по которымъ онъ проводится, помѣщаютъ особые очистители. Этотъ способъ освѣщенія имѣетъ большое значеніе тамъ, гдѣ нѣтъ ни электричества, ни свѣтильнаго газа.

Изготовленіе фотографическихъ объективовъ требуетъ тщательнаго опредѣленія постоянныхъ ихъ поверхностей. Эта задача была разрѣшена Аббе и Корню; для той же цѣли Донжье, помощникъ директора физической лабораторіи въ Сорбоннѣ, изобрѣлъ очень простой приборъ; это настоящій фокометръ, расположенный вертикально; приборъ состоитъ главнымъ образомъ изъ микроскопа, а послѣдній мы привыкли употреблять вертикально; съ этимъ приборомъ можно работать въ каждомъ углу, не нуждаясь въ длинномъ столѣ для разстановки его частей. Представимъ себѣ, что какой-нибудь предметъ, напр. крестъ нитей, помѣщается въ фокусѣ собирающаго стекла L (фиг. 5); лучи, идущіе отъ предмета α, сзади этого стекла будутъ параллельны его оси; если мы примемъ эти лучи на плоское зеркало M и вернемъ назадъ, то въ фокусной плоскости стекла получимъ дѣйствительное изображеніе (β) предмета. Прежде всего надо удостовѣриться помѣщенъ-ли въ фокусѣ предметъ (α); это можно сдѣлать при помощи микроскопа T, находящагося надъ предметомъ (освѣщаемомъ призмою съ полнымъ отраженіемъ). Микроскопъ укрѣпленъ на раздѣленной вертикальной колонкѣ AB; вдоль этой же колонки могутъ перемѣщаться стекло L, предметъ α и зеркало M; послѣднее—при помощи установочныхъ

винтовъ — оріентируется такъ, чтобы изображеніе β совпадало съ предметомъ или было очень близко отъ него (послѣднее удобнѣе). Итакъ положимъ, что предметъ помѣщенъ въ фокусѣ стекла L и что лучи идутъ параллельнымъ пучкомъ; теперь замѣнимъ зеркало M изслѣдуемою чечевицею: отражаясь отъ ея передней стороны C (фиг. 6), лучи какъ бы выходятъ изъ ея фокуса F; изображеніе предмета получается въ плоскости P_2, сопряженной съ плоскостью P_1 (въ которой находится фокусъ F отражающей поверхности C) по отношенію къ стеклу L; поставимъ микроскопъ такъ, чтобы визировать плоскость P_2 (ясно видѣть изображеніе β) и закрѣпимъ его. Затѣмъ посыпавъ слегка поверхность C какимъ-нибудь мелкимъ порошкомъ (напр. сѣмени ликоподія), станемъ опускать площадку, на которой лежитъ изслѣдуемая поверхность, до тѣхъ поръ, пока не увидимъ въ микроскопѣ частичекъ этого порошка: тогда вершина поверхности C находится въ плоскости P_1, и разстояніе, на которое мы при нашемъ опытѣ опустили площадку, равно фокусному разстоянію поверхности C или половинѣ ея радіуса. Это разстояніе опредѣляется приборомъ непосредственно и отсчитывается (съ точностью до 1/2 mm.) по дѣленіямъ колонки AB (фиг. 5). Опредѣляя такимъ образомъ радіусы кривизны стекла, нетрудно вычислить всѣ его элементы (фокусное разстояніе, разстоянія узловыхъ точекъ и т. д.).



фиг. 5.



фиг. 6.

Какъ въ физической, такъ и въ кристаллической оптикѣ часто нуженъ монохроматическій свѣтъ; съ этою цѣлью пользуются ртутною лампою (см. *Физ. Обозр.* т. 1, стр. 144), которая даетъ спектръ, состоящій изъ немногихъ линій, вполнѣ изученныхъ и опредѣленныхъ. Перо и Фабри устроили ртутную

лампу изъ стекляннаго сосуда, въ который впаяна открытая сверху стеклянная трубка; сосудъ и трубка наполнены ртутью до краевъ послѣдней; электроды, впаянные—одинъ въ трубку, другой въ сосудъ, соединяются съ источникомъ электрическаго тока; вольтова дуга, огибая края трубки, образуется между ртутью сосуда и ртутью трубки. Всѣ эти лампы обладаютъ тѣмъ недостаткомъ, что стекло въ нихъ плавится, какъ скоро токъ превосходитъ десятокъ амперовъ. Шабо усовершенствовалъ лампу Перо и Фабри, сдѣлавъ края внутренней трубки (которые одни сильно нагрѣваются) тугоплавкими. Наконецъ Дюфуръ, препараторъ Нормальной школы, дѣлаетъ эту трубку изъ своего литого кварца; такая трубка легко переноситъ токъ въ десятокъ амперовъ.

Свѣторазсѣвающіе приборы, предназначенные для изученія спектровъ, были очень многочисленны на выставкѣ; почти всѣ они вышли изъ мастерской Пеллена. Вообще говоря, два спектроскопа, сдѣланныхъ хотя бы въ одной мастерской и изъ однихъ матеріаловъ, не даютъ согласныхъ показаній; волей, неволей приходится прибѣгать къ посредству кривыхъ и таблицъ, составленныхъ для каждаго прибора и относящихъ отсчеты къ одной общей мѣрѣ, именно къ длинѣ волны каждой линіи. Грамонъ нашелъ способъ дѣлать вполнѣ тождественными спектры, наблюдаемые въ различные спектроскопы, такъ что всякія градуированія и вычисленія становятся совершенно излишними. Съ этою цѣлью приборъ устраивается такъ, что кажущіяся разстоянія между дѣленіями шкалы и свѣторазсѣваніе можно измѣнять. Коллиматоръ, проектирующій изображеніе микрометра, снабженъ объективомъ, который состоитъ изъ двухъ перемѣщающихся одна относительно другой частей; такимъ образомъ между крайними линіями спектра можно уложить произвольное число дѣленій данной шкалы; свѣторазсѣваніе измѣняется легкимъ вращеніемъ призмъ около ихъ положеній для наименьшаго отклоненія; при этомъ спектръ или удлиняется, или укорачивается, и линіи спектра передвигаются относительно неизмѣнной шкалы.

4. *Механика и гидростатика.*

Здѣсь первое мѣсто занимали вѣсы. Демишель выставилъ большіе вѣсы, особенность которыхъ заключается въ механизмѣ, служащемъ для арретировки коромысла и для демпфированія качаній чашекъ.

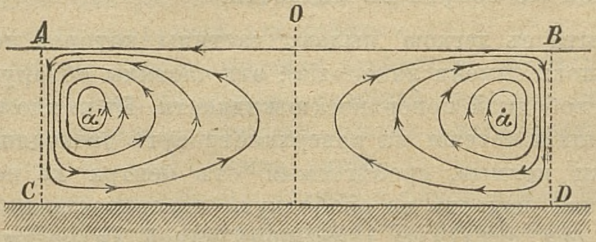
На всемірной выставкѣ особенно въ иностранныхъ отдѣлахъ можно было видѣть множество точныхъ вѣсовъ; но механизмы ихъ довольно сложны; такъ для взвѣшиванія въ закрытомъ шкапчикѣ обыкновенно употребляютъ столько вилокъ, которыми управляютъ извнѣ, сколько имѣется разновѣсокъ. Колло (Collot) построилъ такіе вѣсы и механизмъ въ нихъ сравнительно простъ; цѣна ихъ не очень высока. Большія разновѣски, начиная съ грамма, помѣщаются на особомъ столикѣ, каждая въ своемъ гнѣздѣ; колѣнчатымъ стержнемъ, управляемымъ извнѣ, эти грузы можно класть на чашку или перемѣщать назадъ; другой стержень служитъ для трехъ грузовъ въ 5 dgr., 2 dgr. и 1 dgr.; наконецъ еще рейтеръ въ дециграммъ сажается верхо́мъ на алюминіевую линейку, прикрѣпленную рядомъ съ коромысломъ и раздѣленную на сто равныхъ частей; десять дѣленій соотвѣтствуютъ центиграмму, одно дѣленіе — миллиграмму; рейтеръ снабженъ особымъ ноніусомъ, который позволяетъ оцѣнивать пятыя и даже десятыя доли миллиграмма. Колло выставилъ еще разновѣски изъ бѣлой бронзы; онѣ, повидимому, совершенно неокисляемы и не измѣняются даже тогда, когда остаются открытыми въ химической лабораторіи; подобныя разновѣски оставались на открытомъ воздухѣ въ теченіе всей выставки 1900 г. и нисколько не измѣнились.

Стеклянныхъ приборовъ было очень мало на выставкѣ. Укажемъ на стаканы для аккумуляторовъ сенъ-гобеновской фабрики и на изоляторъ, называемый опалиномъ, изъ котораго дѣлаютъ теперь распредѣлительныя доски и колпачки для телеграфныхъ линій.

Берлемонтъ и Жуаръ уже создали нѣсколько типовъ ртутныхъ насосовъ, но не были ими вполнѣ довольны, такъ какъ въ нихъ были краны; послѣдніе же всегда пропускаютъ воздухъ, а сало, которымъ ихъ смазываютъ, выдѣляютъ газы, мѣшающіе достигать значительнаго разрѣженія. Упомянутымъ механикамъ удалось устроить очень простой насосъ безъ крановъ, безъ каучуковыхъ трубокъ и безъ сгибовъ, въ которыхъ такъ легко собираются пузырьки газовъ; этотъ насосъ очень проченъ и легко чистится, онъ требуетъ отъ 5 до 6 килограммовъ ртути и дѣйствуетъ безостановочно, если соединенъ съ водянымъ насосомъ [1]).

[1]) Подробное описаніе насоса можно найти въ Séances de la Soc. fr. de physique 1900 p. 194. Замѣтимъ, что въ Германіи давно уже устраиваются такіе насосы.

Выставка приборовъ Бенара, препаратора въ Collège de France, дастъ намъ поводъ описать вкратцѣ его интересные опыты [1]), предназначенные для изученія вихреобразныхъ движеній жидкости, когда въ ней происходитъ переносъ теплоты. Бенару впервые удалось изслѣдовать гидродинамическое явленіе въ дѣйствительной жидкости и при томъ исключительно физическими пріемами. Представимъ себѣ обширный сосудъ съ горизонтальнымъ дномъ, которое поддерживается при постоянной температурѣ; въ сосудъ налитъ тонкій слой жидкости, свободная поверхность которой соприкасается съ воздухомъ болѣе низкой температуры. Однообразіе условій не даетъ a priori никакихъ указаній на опредѣленное расположеніе восходящихъ и нисходящихъ движеній; а между тѣмъ тутъ образуются вихри, распредѣленные очень просто и правильно: весь слой жидкости разбивается на равныя вертикальныя шестиугольныя призмы или *клѣтки*. Движенія жидкости въ каждой такой клѣткѣ характеризуется слѣдующимъ образомъ: 1) Всѣ траекторіи частицъ жидкости суть замкнутыя плоскія кривыя, лежащія въ вертикальныхъ плоскостяхъ; горизонтальныя проложенія траекторій суть отрѣзки прямыхъ. 2) Всѣ плоскости траекторій одной клѣтки пересѣкаются по одной вертикальной прямой, которая есть *ось* клѣтки. 3) Линіи токовъ въ какомъ-нибудь азимутѣ представлены на фиг. 7:



Фиг. 7.

нагрѣвшись, жидкость восходитъ по ближайшимъ къ оси частямъ траекторій; затѣмъ она течетъ центробѣжно по горизонтальному направленію; охладившись здѣсь, жидкость нисходитъ по периферіи, близъ перегородокъ клѣтки; наконецъ течетъ центростремительно вдоль нагрѣтаго дна. Замкнутыя линіи токовъ

---

[1]) Подробно изложенны въ его диссертаціи, а также въ Journal d physique (1900): *Bénard*, Courants de convection.

нигдѣ не пересѣкаются и окружаютъ точку, въ которой скорость = 0; всѣ онѣ вписаны въ прямоугольникъ. Неподвижныя точки лежатъ на *оси вихрей*; эта линія имѣетъ форму шестиугольника съ закругленными углами, но не плоская. Для каждой линіи тока движеніе періодично; періодъ этотъ нѣсколько увеличивается вмѣстѣ съ длиною линіи. Движеніе близъ дна встрѣчаетъ значительное сопротивленіе, вслѣдствіе чего нижняя половина траекторіи проходится гораздо медленнѣе, чѣмъ верхняя, и неподвижная точка ближе къ свободной поверхности, чѣмъ ко дну.

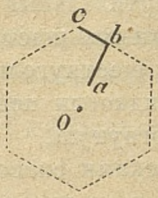
Это стаціонарное состояніе есть предѣлъ, къ которому—каково бы начальное перемѣнное состояніе ни было—можно какъ угодно приблизиться, если опытъ продолжать достаточно долго; такимъ образомъ въ концѣ концовъ въ жидкости устанавливается симметрія, которую можно сравнить только съ тою, которая имѣетъ мѣсто въ кристаллической средѣ. Замѣтимъ, что опыты надо дѣлать съ жидкостями мало летучими, напр. со спермацетомъ, между температурою плавленія (46°) и 100°.

Описанныя явленія можно изучать механическимъ и оптическимъ путемъ. Опыты перваго рода основываются на употребленіи пыли, т. е. мелкихъ твердыхъ частицъ, которыя или плаваютъ на поверхности жидкости, или остаются въ ней взвѣшенными, или же тонутъ въ жидкости.

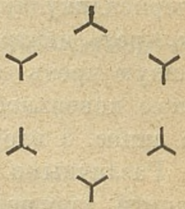
1-й опытъ съ легкою пылью, частицы которой не тонутъ (напр. порошокъ сѣмени ликоподія); эти частицы обнаруживаютъ теченія на свободной поверхности жидкости. Въ каждомъ шестиугольникѣ линіи теченія на поверхности суть расходящіяся изъ одной точки прямыя, пробѣгаемыя отъ центра къ периферіи. Если пылинка падаетъ на свободную поверхность въ точку *a* (фиг. 8), то она, слѣдуя за движеніемъ самой жидкости, перемѣщается до *b* по линіи тока, на которую она упала; дойдя здѣсь до контура многоугольника, она покидаетъ линію тока (которая здѣсь опускается внутрь жидкости) и описываетъ путь *bc*, совпадающій со стороною шестиугольника; это движеніе очень медленное, ибо обусловливается равнодѣйствующею двухъ поверхностныхъ скоростей, сходящихся въ *b* подъ большимъ угломъ. Наконецъ пылинка останавливается въ вершинѣ *c* общей тремъ клѣткамъ, гдѣ сходятся три взаимно уничтожающіяся скорости. Чрезъ нѣкоторое время на свободной поверхности жидкости

образуются трехлучистыя звѣздочки (фиг. 9), расположенныя совершенно правильно и обозначающія тройныя вершины шестиугольниковъ. Такимъ образомъ на свободной поверхности жидкости обрисовывается *сѣть шестиугольниковъ*.

2-й опытъ со взвѣшенною пылью, частицы которой участвуютъ въ циркуляціи и описываютъ линіи токовъ со скоростью равною скорости самихъ элементовъ жидкости. Если пылинки рѣдки (нѣсколько на одну клѣтку), то въ микроскопъ можно слѣдить за горизонтальною проекціею движенія каждой пылинки; при этомъ легко удостовѣриться, что каждая пылинка качается изохронно, описывая отрѣзокъ прямой постоянной длины.



фиг. 8.


фиг. 9.

3-й опытъ съ тяжелою пылью, обнаруживающею горизонтальное центростремительное движеніе жидкости близъ дна сосуда. Тяжелыя пылинки тонутъ и осядаютъ на дно сосуда; здѣсь центростремительный токъ, увлекаетъ эти пылинки въ центръ клѣтки. Чрезъ нѣкоторое время тяжелая пыль собирается въ равноотстоящія и правильно расположенныя кучки, которыя обозначаютъ центры нашихъ шестиугольниковъ, т. е. точки, чрезъ которыя проходятъ оси клѣтокъ.

Разстоянія между центрами сосѣднихъ клѣтокъ колеблется отъ 1·5 до 3·5 mm., смотря по толщинѣ жидкаго слоя; періодъ обращенія пылинокъ по линіямъ токовъ опредѣлился отъ 1·5 до 3 sec, смотря по длинѣ этихъ линій.

Описанная циркуляція жидкости обусловливается, конечно, тѣмъ, что изобарныя поверхности не горизонтальны, что свободная поверхность жидкости не плоская и представляетъ тѣ же элементы симметріи, что и внутренняя циркуляція. Легко догадаться каково должно быть распредѣленіе этихъ давленій: избытокъ давленія долженъ быть тамъ, гдѣ начинаются центростремительныя движенія, происходящія, не смотря на вязкость жидкости; оси клѣтокъ, по которымъ жидкость поднимается вверхъ, должны соотвѣтствовать депрессіямъ. Слѣд. на свободной поверхности образуются углубленія надъ осями клѣтокъ и возвышенія (трехгранныя пирамидки) въ каждой тройной вер-

шинѣ сѣти шестиугольниковъ; наконецъ по каждой сторонѣ шестиугольниковъ образуется какъ бы гребень крыши; если чрезъ середину стороны шестиугольника провести двѣ взаимно-перпендикулярныя вертикальныя плоскости — одну, проходящую чрезъ центры смежныхъ шестиугольниковъ, другую, проходящую чрезъ сторону шестиугольника, то въ сѣченіи со свободною поверхностью жидкости первая плоскость дастъ выпуклую линію, а вторая—вогнутую.

Различными оптическими способами можно обнаружить эти разности уровней, хотя и не превосходящія одного микрона на толщину слоя въ 1 mm. при 100°. Изъ этихъ способовъ опишемъ одинъ, изобрѣтенный еще Фуко для обнаруженія малѣйшихъ недостатковъ телескопныхъ зеркалъ. Поверхность жидкости освѣщается сходящимся пучкомъ лучей; въ точкѣ схожденія отраженныхъ лучей ставятъ очень малый непрозрачный экранъ; изъ близкой къ экрану точки *A* отражающая поверхность представляется неосвѣщенною, если она вполнѣ правильна; если же на отражающей поверхности имѣются неровности, то одни мѣста этой поверхности покажутся освѣщенными (тѣ, которыя посылаютъ лучи въ точку *A*, изъ которой мы наблюдаемъ), другія—темными. Если при этомъ трубу или фотографическую камеру навести на свободную поверхность нашей жидкости, то получается сильно увеличенный рельефъ изслѣдуемой поверхности.

Оканчивая описаніе выставки, упомянемъ, что Société d'éclairage, de chauffage et de force motrice par l'alcool (procédés de M. Denayrouse) выставила новый продуктъ — эмеродинъ (emeraudine) Денеруза. Спиртъ, какъ извѣстно, употребляется въ тѣхъ случаяхъ, когда хотятъ быстро получить источникъ сильнаго нагрѣванія; къ несчастью спиртовыя лампы представляютъ не малую опасность. Давно уже старались получить твердое соединеніе алкоголя съ мыломъ; но жидкія капли этого вещества могутъ распространяться и легко воспламеняются; горѣніе его сопровождается непріятнымъ запахомъ и даетъ остатокъ. Эмеродинъ Денеруза, твердое вещество, которое легко рѣжется ножомъ и не представляетъ ни одного изъ указанныхъ недостатковъ. Горѣлка становится излишнею: стоитъ кусочекъ эмеродина положить на опрокинутую тарелку и зажечь, чтобы получить сильный очагъ. Легко предвидѣть широкое распространеніе этого вещества какъ въ домашнемъ хозяйствѣ, такъ и во многихъ другихъ случаяхъ.

Оригинальные приборы физической лабораторіи Спб. университета

В. В. Лермонтова [1]).

4. *Приборъ для уясненія „закона параллелограмма силъ"*. Гибкая веревочка вытягивается вдоль направленія дѣйствующей на нее силы, а силы можно измѣрять помощью пружиннаго динамометра. Поэтому для опыта, уясняющаго какъ понимать и примѣнять „параллелограммъ силъ", всего проще взять три веревочки, связать ихъ общимъ узломъ, а свободные концы привязать къ тремъ динамометрамъ: какъ бы мы ни натягивали за кольца эти динамометры, ихъ показанія должны согласоваться съ результатами вычисленія или построенія, основаннаго на вышеуказанномъ законѣ.



фиг. 1.

Осуществить этотъ опытъ безъ соотвѣтственнаго приспособленія неудобно, но онъ выходитъ удовлетворительно, если взять обыкновенные продажные пружинные безмены, показывающіе до 25 фунтовъ, и крѣпкую, тонкую бичевку, выбрать натяженія въ нѣсколько фунтовъ. При малыхъ натяженіяхъ и болѣе чувствительныхъ безменахъ вѣсъ частей прибора замѣтно вліяетъ на результатъ.

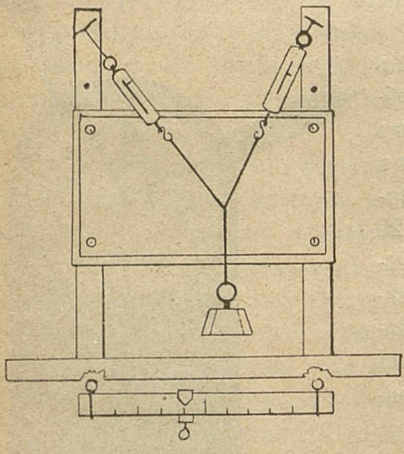
Для удобнаго осуществленія опыта, я устроилъ еще въ 1872 г. приборъ, изображенный на фиг. 1. На вертикальной доскѣ, (величиною въ полъ-листа писчей бумаги) одинъ безменъ укрѣпленъ въ вертикальномъ желобкѣ, а два другихъ на желобкахъ подвижныхъ

---

1) Продолженіе, см. стр. 39.

вѣтвей, довольно туго (на задней поверхности дощечки), вращающихся около общаго, центральнаго винта. Каждый безменъ прикрѣпленъ къ особому винту; вращая гайку послѣдняго, можно по желанію натягивать веревочки. Для ускоренія опыта, я заранѣе вычертилъ нѣсколько параллелограммовъ на бѣлыхъ, картонныхъ кружкахъ, чтобы подкладывать ихъ подъ веревочки прибора. Тогда остается лишь подтянуть винты и повернуть вѣтви съ безменами такъ, чтобы получить числа легко сравнимыя съ написанными на кружкѣ. Пр. Фанъ-деръ-Флитъ нашелъ, что логичнѣе поступать въ обратномъ порядкѣ: подкладываютъ чистую бумагу, обчерчиваютъ карандашемъ направленія веревочекъ, и, снявъ бумагу, дѣлаютъ построеніе параллелограмма циркулемъ, угольникомъ и линейкою, по масштабу. Результатъ такого построенія получается обыкновенно съ точностью большею, чѣмъ отсчетъ натяженій на безменахъ.

Этотъ приборъ сравнительно дорогъ и сложенъ. Лѣтомъ 1899 г. я устроилъ другой (фиг. 2), который можетъ сдѣлать себѣ всякій ученикъ, умѣющій немного столярничать. Дощечка въ полъ-листа писчей бумаги укрѣплена вертикально между двумя столбиками, вдѣланными въ кусокъ толстой доски. Въ верхніе концы столбиковъ туго вставлено по продажному, проволочному кольцу съ винтомъ (дюйма 4—5 длиною), причемъ часть, нарѣзанная винтомъ, отпилена, и за кольцо можно вертѣть стержень на мѣстѣ. Безмены (дешевая нѣмецкая поддѣлка, купленная въ „Американской продажѣ", гдѣ всѣ предметы были по 10 к.), привѣшаны за веревочки къ этимъ кольцамъ, такъ

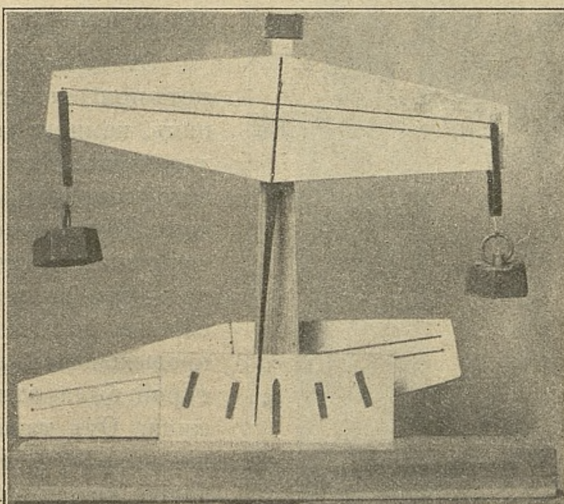


Фиг. 2.

что вращая кольцо, можно навертывать веревочку на его стержень и тѣмъ укорачивать или удлинять ее. На третьей веревочкѣ повѣшанъ тяжелый предметъ, фунтовъ въ 5—10. На дощечку прикалываютъ бумагу, и обчерчиваютъ направленіе веревочекъ послѣ того, какъ придадутъ имъ желаемое направленіе. Если хотятъ получить параллелограммъ съ болѣе тупымъ уг-

ломъ, переставляютъ колки въ нижнія дырки. На этомъ же приборѣ можно показывать сложеніе параллельныхъ силъ, для вывода условій равновѣсія рычага. Съ этою цѣлью къ безменамъ привѣшиваютъ изображенную у основанія прибора линейку за ея конечныя проволочныя колечки. На подвижной крючекъ привѣшиваютъ гирю въ нѣсколько фунтовъ. Сама линейка настолько легка, что ея вѣсъ незамѣтенъ на грубыхъ и достаточно нагруженныхъ безменахъ.

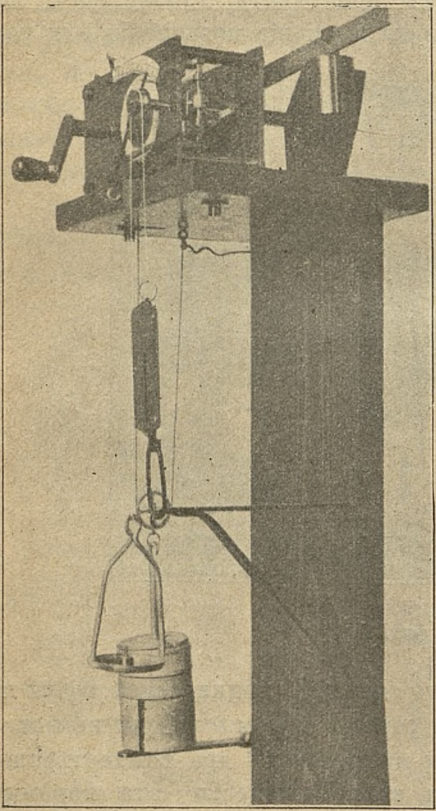
5. *Модель вѣсовъ* (фиг. 3). Существующіе приборы для уясненія дѣйствія вѣсовъ могутъ показывать вліяніе разстоянія центра тяжести отъ точки опоры и вліяніе повышенія или пони-



фиг. 3.

женія этой точки относительно прямой, соединяющей точки привѣса чашекъ, но вліянія вѣса самаго коромысла они не показываютъ. Для своего прибора я приготовилъ два тождественныхъ коромысла, вырѣзанныхъ изъ тонкой дощечки; эти коромысла складывались вмѣстѣ и въ нихъ просверливались дырочки для вставленія осей, приготовленныхъ изъ вязальной спицы. Подвѣски сдѣланы изъ стальной пружины, согнутой въ видѣ буквы U, концы которой еще разъ загибались внутрь и просверливались такъ, чтобы оси держались въ этихъ дырочкахъ, упираясь заостренными своими концами въ наружную часть подвѣски.

По средней своей линіи коромысло просверлено въ центрѣ тяжести, выше и ниже его; на концахъ коромысла оси чашекъ можно вставлять на линіи, проходящей чрезъ точку привѣса, выше или ниже ея. Указатель продолженъ вверхъ и тамъ можно передвигать гирьку и такимъ образомъ перемѣщать центръ тяжести всей системы. Благодаря легкому тренію осей, опыты идутъ плавно: при нагрузкѣ по 200 gr. перевѣсъ въ 10 gr. вполнѣ замѣтенъ и отклоненіе много измѣняется, согласно формулѣ, когда перемѣщаютъ точки подвѣсовъ чашекъ; оно уменьшается приблизительно вдвое, когда при прочихъ равныхъ условіяхъ надѣваютъ оба коромысла.



фиг. 4.

Этотъ приборъ тоже можетъ приготовить всякій ученикъ, немного умѣющій столярничать. Для того, чтобы согнуть пружины для подвѣсковъ, достаточно подогрѣть сгибаемое мѣсто на свѣчкѣ не до-красна, а лишь до-синя, т. е. до температуры, не превышающей ту, при которой была отпущена пружина. Отъ такого нагрѣванія упругость ея по охлажденію не измѣнится: интересно, что свойство это, знакомое многимъ мастерамъ, еще не извѣстно ученымъ; его можно формулировать такъ: при повышеніи температуры предѣлъ упругости понижается для закаленной стали, а упругое послѣдѣйствіе возрастаетъ; по охлажденіи сталь получаетъ свойства, соотвѣтствующія отпуску при наивысшей температурѣ этого нагрѣванія.

6. *Приборъ для уясненія понятій о механической работѣ, коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія и динамометрѣ Прони* (фиг. 4). Для

примѣненія зажима Прони надо заставить машину вращаться съ тою же скоростью, съ которою она вращалась, производя свою полезную работу. Поэтому нашъ часовой механизмъ снабженъ центробѣжнымъ маятникомъ, приводящимъ въ движеніе стрѣлку, которая показываетъ на одно и тоже дѣленіе, когда скорость вращенія снова становится та же. Механизмъ укрѣпленъ на высокомъ штативѣ, и приводящая его въ движеніе гиря, будучи поднята ровно на 1 метръ, можетъ быть удержана въ покоѣ особою откидною площадкою. Когда эта подпорка откинута, гиря, вѣсящая P kgr., опускается равно на 1 метръ, приводя во вращеніе механизмъ и совершая при этомъ работу въ P килограммометровъ. На заднемъ концѣ третьяго вала механизма надѣтъ кружокъ-точило, на окружность которою можетъ нажимать рычагъ съ передвижною гирькою. Дальше, на той же оси можно надѣвать или снимать крылья для воздушнаго регулятора. Положимъ что крылья эти сняты, а грузъ такъ установленъ на рычагѣ, что—при снятомъ ремешкѣ динамометра—стрѣлка во время вращенія стоитъ на n-омъ дѣленіи; послѣ этого откидываютъ рычагъ, накидываютъ ремешокъ динамометра на шкивъ діаметра $2R$, и регулируютъ нагрузку на чашкѣ такъ, чтобы положеніе стрѣлки было снова на n-омъ дѣленіи, т. е. чтобы скорость вращенія была та же. Чашка уравновѣшиваетъ пружинный безменъ, поэтому его показаніе, p килограммовъ, будетъ мѣрою тренія на окружности шкива. Предварительнымъ опытомъ опредѣляютъ сколько оборотовъ N, дѣлаетъ третій валъ, когда гиря опускается на 1 m.; это легко сосчитать при помощи стрѣлки на среднемъ валу. Тогда для выраженія полезной работы W механизма получимъ:

$$W = 2 N \pi R p \text{ килограммометровъ,}$$

гдѣ R должно быть выражено въ частяхъ метра, а p—въ частяхъ килограмма. Такъ какъ для этого двигатель совершилъ работу въ P килограммометровъ, то коэффиціентъ полезнаго дѣйствія механизма будетъ:

$$\frac{W}{P} 100 = \frac{2 N \pi R p}{P} 100.$$

Надѣвая крылья и заставляя приборъ вращаться съ разными скоростями въ зависимости отъ нагрузки чашки динамо-

метра, увидимъ какъ быстро возрастаетъ работа, поглощаемая крыльями регулятора съ возрастаніемъ скорости.

Въ принципѣ приборъ можно бы примѣнить къ опредѣленію твердости тѣлъ, измѣряя работу нужную для стиранія единицы вѣса изслѣдуемыхъ тѣлъ; но при настоящихъ размѣрахъ механизма едва-ли можно достигнуть достаточной точности, такъ какъ затрата работы мала и не произведетъ достаточнаго уменьшенія вѣса стираемаго тѣла.

Практическая физика въ средней школѣ

Ф. И. Ростовцева [1]).

VI. Задачи по электричеству.

39) *Изслѣдовать дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку.*

Приборы. Горизонтальная магнитная стрѣлка, батарея изъ 6 элементовъ Гренэ, достаточно длинная проволока.

Опытъ. Замыкаютъ проволокою батарею; выпрямленную часть этой проволоки, подносятъ къ магнитной стрѣлкѣ и, давая проволокѣ различныя положенія относительно стрѣлки, замѣчаютъ отклоненія послѣдней. Отсюда выводятъ правило Ампера.

40) *Градуировать гальванометръ.*

Приборы. Гальванометръ, элементъ Даніэля, два магнита, соединительная проволока, коммутаторъ.

Гальванометръ брать самой простой конструкціи. По периферіи круглой доски (діаметръ около 35 cm., толщина 23 cm.) наматывается изолированная проволока; такимъ образомъ приготовленная катушка укрѣпляется вертикально на горизонтальной доскѣ; въ серединѣ круглой доски дѣлаютъ вырѣзку и тамъ помѣщаютъ горизонтальную магнитную стрѣлку (или компасъ съ раздѣленнымъ кругомъ) такъ, чтобы середина ея помѣщалась въ центрѣ круглой обмотки.

---

[1]) Продолженіе, см. стр. 208.

Передъ пользованіемъ гальванометромъ его устанавливаютъ такъ, чтобы магнитная стрѣлка расположилась въ плоскости обмотки.

Когда токъ пропускаютъ чрезъ обмотку гальванометра, его магнитная стрѣлка отклоняется; послѣ нѣсколькихъ качаній стрѣлка успокаивается, отклонившись на нѣкоторый уголъ отъ прежняго своего направленія; этотъ уголъ отклоненія магнитной стрѣлки, измѣряемый по находящемуся подъ нею раздѣленному кругу, служитъ мѣрою тока въ обмоткѣ: токъ пропорціоналенъ тангенсу соотвѣтственнаго угла отклоненія магнитной стрѣлки.

Чувствительность даннаго гальванометра можно увеличить или уменьшить, приближая къ нему магнитъ, расположенный на продолженіи магнитной стрѣлки (при этомъ направленіе послѣдней не должно измѣняться); если такой магнитъ своимъ сѣвернымъ концомъ обращенъ на сѣверъ, то онъ увеличитъ чувствительность гальванометра, если же на сѣверъ обращенъ южный полюсъ, то магнитъ уменьшаетъ чувствительность гальванометра.

Опытъ. Установивъ гальванометръ, концы его обмотки соединяютъ съ элементомъ чрезъ коммутаторъ, при помощи котораго можно замыкать и прерывать токъ или же мѣнять его направленіе въ гальванометрѣ.

Замкнувъ токъ, отсчитываютъ на кругѣ компаса дѣленіе α'_1, противъ котораго останавливается одинъ конецъ магнитной стрѣлки, и дѣленіе α'_2, противъ котораго останавливается другой ея конецъ; стрѣлка можетъ быть эксцентрична относительно раздѣленнаго круга, и потому эти отсчеты обыкновенно не вполвѣ одинаковы; отклоненіе стрѣлки опредѣляется среднимъ изъ этихъ отсчетовъ, т. е. $\alpha' = (\alpha'_1 + \alpha'_2)/2$. Измѣнивъ направленіе тока, опять отсчитываютъ дѣленія α''_1 и α''_2, противъ которыхъ остановятся концы стрѣлки, и выводятъ среднее $\alpha'' = (\alpha''_1 + \alpha''_2)/2$; такъ какъ гальванометръ можетъ быть не хорошо установленъ, то отклоненія α' и α'', обыкновенно, не одинаковы; поэтому за истинное отклоненіе стрѣлки принимаютъ среднее изъ этихъ отсчетовъ, т. е. $\alpha = (\alpha' + \alpha'')/2$.

Прерываютъ теперь токъ, а къ гальванометру приближаютъ магнитъ, расположенный перпендикулярно къ магнитному меридіану такъ, чтобы его продолженіе проходило чрезъ середину стрѣлки; этотъ магнитъ приближаютъ къ гальванометру настолько, чтобы подъ однимъ его вліяніемъ магнитная стрѣлка отклонилась бы на тотъ же уголъ α, на который прежде она отклоня-

лась подъ вліяніемъ тока въ обмоткѣ. Затѣмъ пускаютъ въ гальванометръ прежній токъ и замѣчаютъ отклоненіе стрѣлки β; понятно, что если бы не было отклоняющаго магнита, то стрѣлка отклонилась бы на такой уголъ (β) подъ дѣйствіемъ вдвое большаго тока. Прервавъ опять токъ, приближаютъ магнитъ къ гальванометру такъ, чтобы стрѣлка его отклонилась на β; затѣмъ по обмоткѣ пускаютъ прежній токъ и замѣчаютъ отклоненіе γ, которое безъ магнита вызывалось бы второе большимъ токомъ и т. д.

Такимъ образомъ разцѣниваются или, какъ говорятъ, градуируются показанія гальванометра; послѣ этого отклоненія стрѣлки гальванометра могутъ служить для сравненія величинъ токовъ.

41) *Изслѣдовать зависимость сопротивленія проволоки отъ ея размѣровъ.*

Приборы. Градуированный гальванометръ съ очень малымъ сопротивленіемъ; элементъ Даніэля; рядъ нейзильберовыхъ проволокъ: діаметра въ 0·5 mm. и длиною въ 5, 10, 20, 40 m.; затѣмъ проволоки длиною въ 40 m., но съ діаметрами въ 1 и 1·5 mm.; коммутаторъ.

Опытъ. Составляютъ цѣпь изъ гальванометра, коммутатора, элемента Даніэля и одной изъ проволокъ. Послѣдовательно вводя въ цѣпь проволоки одной толщины, но различной длины находятъ, что показаніе гальванометра тѣмъ меньше, чѣмъ больше длина этой проволоки; отсюда заключаемъ, что сопротивленіе проволоки пропорціонально ея длинѣ. Вводя въ цѣпь проволоки одной длины, но различныхъ діаметровъ, находимъ, что сопротивленіе обратно-пропорціонально площади поперечнаго сѣченія (квадрату діаметра). Если имѣются проволоки тѣхъ же размѣровъ, какъ и предыдущія, но изъ другого вещества, то легко также обнаружить, что сопротивленіе проволоки зависитъ отъ ея вещества.

42) *Провѣрить законъ Ома.*

Приборы. Градуированный гальванометръ, 3 элемента Даніэля, ящикъ сопротивленій, коммутаторъ, соединительная проволока.

При неимѣніи готоваго ящика сопротивленій можно самому устроить рядъ образцовыхъ сопротивленій; для этого берутъ изолированную тонкую нейзильберовую проволоку въ кускахъ разной длины. Каждый кусокъ наматываютъ на деревянную катушку и концы проволоки соединяютъ съ клеммами, прикрѣп-

ленными къ катушкѣ; на катушкѣ ставятъ цифру, выражающую длину проволоки; эту цифру и можно принимать за сопротивленіе проволоки въ произвольныхъ единицахъ.

Опытъ. Составляютъ цѣпь изъ гальванометра, ящика сопротивленій, коммутатора и элемента Даніэля. Вводятъ при помощи ящика столь большое сопротивленіе R, чтобы сопротивленіемъ остальныхъ частей цѣпи можно было пренебречь. Пропуская чрезъ гальванометръ токъ, замѣчаютъ отклоненіе α_1 его стрѣлки при введенномъ сопротивленіи R_1; вводятъ новое сопротивленіе R_2 и замѣчаютъ новое отклоненіе α_2. Если найденныя такимъ образомъ отклоненія стрѣлки сравнить съ соотвѣтствующими сопротивленіями цѣпи, то найдемъ, что первыя обратно-пропорціональны послѣднимъ.

Берутъ теперь достаточно большое сопротивленіе R и, не измѣняя его, вводятъ въ цѣпь сперва одинъ, затѣмъ два, три... элемента, соединенныхъ послѣдовательно. Отмѣтивъ отклоненія стрѣлки гальванометра при этихъ опытахъ, находятъ, что они прямо-пропорціональны числу взятыхъ элементовъ; слѣд. токъ прямо-пропорціоналенъ электродвижущей силѣ батареи.

43) *Убѣдиться, что токъ пропорціоналенъ тангену соотвѣтствующаго угла отклоненія стрѣлки гальванометра.*

Приборы. Гальванометръ съ извѣстнымъ сопротивленіемъ (g) или же со столь малымъ сопротивленіемъ, что имъ можно пренебрегать; ящикъ сопротивленій; элементъ Даніэля, сопротивленіе (r) котораго извѣстно; коммутаторъ; толстая соединительная проволока.

Опытъ. По закону Ома можно написать $i = E/(R+r+g)$; съ другой стороны положимъ, что $i = k \operatorname{tg} \alpha$, гдѣ α есть уголъ отклоненія стрѣлки гальванометра; такимъ образомъ имѣемъ $k \operatorname{tg} \alpha = E/(R+r+g)$; для другого сопротивленія и соотвѣтствующаго отклоненія пусть $k \operatorname{tg} \alpha_1 = E/(R_1+r+g)$. Отсюда можно написать

$$\operatorname{tg} \alpha \, (R+r+g) = \operatorname{tg} \alpha_1 \, (R_1+r+g) = \cdots$$

Такимъ образомъ вся наша задача сводится къ провѣркѣ послѣдняго уравненія.

Составляютъ цѣпь изъ гальванометра, элемента, ящика сопротивленій и коммутатора; изъ ящика подбираютъ такія сопротивленія R_1, R_2, $\cdots$ чтобы углы отклоненія стрѣлки гальванометра послѣдовательно были 5^0, 10^0, 15^0 и т. д. до 70^0; вычисляютъ каждый разъ указанное произведеніе $\operatorname{tg} \alpha \, (R+r+g)$.

44) *Опредѣлить сопротивленіе проволоки (методъ подстановки).*

Приборы. Элементъ Даніэля, гальванометръ, ящикъ сопротивленій, коммутаторъ, испытуемая проволока и соединительная проволока.

Опытъ. Составляютъ цѣпь изъ гальванометра (сопротивленіе котораго того же порядка, какъ и испытуемое), ящика сопротивленій, коммутатора и элемента. Изъ ящика сопротивленій подбираютъ такое сопротивленіе, чтобы отклоненіе гальванометра было въ 45°. Затѣмъ измѣряемое сопротивленіе выключаютъ изъ цѣпи, но ящикомъ вводятъ такое новое сопротивленіе, чтобы отклоненіе стрѣлки гальванометра осталось прежнимъ. Понятно, что это сопротивленіе, вновь введенное ящикомъ, равно измѣряемому.

45) *Сравнить электродвижущія силы двухъ элементовъ.*

Приборы. Гальванометръ, элементъ Даніэля, сравниваемый элементъ, ящикъ сопротивленій и соединительныя проволоки.

Опытъ. Составляютъ цѣпь изъ гальванометра, ящика сопротивленій и обоихъ элементовъ, введенныхъ послѣдовательно. Сперва анодъ одного элемента соединяютъ съ катодомъ другого (тогда электродвижущая сила цѣпи $= E+E'$) и замѣчаютъ токъ, i; затѣмъ анодъ одного элемента соединяютъ съ анодомъ другого (тогда электродвижущая сила цѣпи $= E-E'$) и опять замѣчаютъ токъ, i'. Такъ какъ сопротивленіе цѣпи въ обоихъ случаяхъ одно и то же, R, то мы можемъ написать,

$$i = \frac{E+E'}{R} \text{ и } i' = \frac{E-E'}{R};$$

откуда

$$\frac{E}{E'} = \frac{i'+i}{i'-i}$$

или, называя α и α' отклоненія магнитной стрѣлки гальванометра въ первомъ и во второмъ опытѣ,

$$\frac{E}{E'} = \frac{\operatorname{tg}\alpha' + \operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha}.$$

(Окончаніе слѣдуетъ).

ОБЪ ИЗДАНІИ ВЪ 1902 Г.

ПОПУЛЯРНО-НАУЧНАГО ЖУРНАЛА

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ.

Вступая въ третій годъ своего существованія, Физическое Обозрѣніе останется вѣрнымъ разъ намѣченной цѣли и будетъ знакомить своихъ читателей съ важнѣйшими успѣхами физики, а также сообщать имъ практически-полезныя свѣдѣнія по преподаванію этого предмета.

Сочувствіе многихъ спеціалистовъ цѣлямъ Физическаго Обозрѣнія обезпечиваетъ редакціи цѣнный матеріалъ и для будущаго года. Уже теперь въ редакціи находятся статьи: *О. Д. Хвольсона* „Характеристика современнаго состоянія науки объ электрическихъ и магнитныхъ явленіяхъ", *Н. П. Мышкина* „Свойства наэлектризованнаго острія" и *Ф. И. Ростовцева*: „по успѣхамъ электротехники. Кромѣ того многія лица изъявили свое намѣреніе прислать статьи по самымъ разнообразнымъ вопросамъ, а именно *Н. Н. Шиллеръ*: 1) объ элементарномъ изложеніи законовъ гидростатики, 2) объ опытныхъ данныхъ, лежащихъ въ основаніи ученія о свѣтѣ, 3) о построеніи механики безъ помощи силъ и 4) о преподаваніи физики; *В. А. Михельсонъ*: 1) о линейныхъ спектрахъ и 2) замѣтки по лекціоннымъ демонстраціямъ; *П. Д. Хрущовъ* по физической химіи; *А. Л. Потылицынъ* „Атомы и частицы"; *А. П. Соколовъ* объ электролизѣ; *А. А. Эйхенвальдъ* 1) о вольтовой дугѣ и 2) о классныхъ опытахъ; *Д. А. Гольдгаммеръ*: 1) о ручномъ регуляторѣ и 2) объ электролитическомъ прерывателѣ.

Съ своей стороны редакція Физическаго Обозрѣнія заготовила цѣлый рядъ статей по теоріи электроновъ, которая пріобрѣтаетъ все большее и большее значеніе въ физикѣ.

Имѣвшіе недавно мѣсто съѣзды Британской ассоціаціи и нѣмецкихъ натуралистовъ, а также предстоящій XI съѣздъ русскихъ естествоиспытателей дадутъ, конечно, обильный и интересный матеріалъ для Физическаго Обозрѣнія.

Редакторъ-издатель
проф. *П. Зиловъ*.

Содержаніе первыхъ двухъ томовъ
ФИЗИЧЕСКАГО ОБОЗРѢНІЯ
1 т. (1900 г.)

Итоги съѣзда преподавателей физ.-хим. наукъ. *Зееманъ* — Частички меньшія атомовъ. *Зиловъ*—Катодные лучи—Всемірное тяготѣніе—Физическій конгрессъ—Скорость распространенія электричества. *Корню*—Теорія свѣтовыхъ волнъ и ея вліяніе на современную физику. *Лебедевъ* — Способы полученія высокихъ температуръ — Обращающая призма —Жаръ вольтовой дуги. *Липпманъ*—Новые газы атмосферы. *Михельсонъ*—Физика передъ судомъ прошедшаго и передъ запросами будущаго. *Пойнтингъ*—Гипотезы въ физикѣ. *Пуанкаре*—Теорія и опытъ. *Соколовъ*—Сжиженіе газовъ. *Трусевичъ*—Классные опыты. *Шиллеръ*—Замѣтка по методологіи ученія о двойномъ преломленіи.

2-й т. (1901 г.).

Абрагамъ—Максвеллевское v. *Биша* и *Свингедау* — Актино-электрическія явленія. *Блондло* и *Гюттонъ*—Скорость электромагн. волнъ. *Де-Метцъ*— Столѣтіе метрической системы. *Гильомъ*— Жизнь матеріи — Температура солнца. *Зиловъ*— Электромагнитная теорія свѣта — Явленіе Зеемана. *Кальбаумъ*—Перегонка металловъ. *Корню*—Скорость свѣта. *Корольковъ*—Нѣсколько теоремъ о наибольшихъ и среднихъ величинахъ. *Лебедевъ*—Скала электромагнитныхъ волнъ въ эфирѣ. *Лермонтовъ*—Оригинальные приборы физ. лабораторіи Спб. университета *Михельсонъ*— Очерки по спектральному анализу. *Рихарцъ*—Отношеніе электромагнитныхъ и электростатическихъ единицъ — Основы электротехники. *Ростовцевъ*—Телеграфонъ Поульсена—Практическая физика въ средней школѣ. *Ротэ*— Пасхальное засѣданіе 1901 г. франц. физическаго Общества. *Спрингъ* — Движеніе частицъ твердаго тѣла. *Троцевичъ* — Электроскопъ. *Фитцъ-Джеральдъ* — Теорія іоновъ. *Хвольсонъ*—Perpetuum mobile. *Шиллеръ*—Законъ Допплера.
